



Universidade de Aveiro
2017

Departamento de Química

Maria Inês Monteiro
Xavier dos Santos
Casaleiro

Controlo do Processo de Fabrico de Rolhas de
Champanhe



Universidade de Aveiro
2017

Departamento de Química

**Maria Inês Monteiro
Xavier dos Santos
Casaleiro**

Controlo do Processo de Fabrico de Rolhas de Champanhe

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Doutor Francisco Avelino Silva Freitas, Professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e da Engenheira Elvira Cristina Miravall da Silva, Diretora de Qualidade da Unidade Industrial Champcork, Amorim, S.A.

Dedico este trabalho a Eduarda Calado Caldeira (“*Jijá*”)

o júri

Presidente

Doutora Maria Inês Purcell de Portugal Branco

Professora Auxiliar- Departamento de Química- Universidade de Aveiro-
inesport@ua.pt

Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira

Professor Auxiliar-Departamento de Engenharia Mecânica-Universidade de Aveiro-
jaff@ua.pt

Engenheira Elvira Cristina Miravall Da Silva

Eng.^a Alimentar- Diretora de Qualidade- Amorim & Irmãos S.A, Unidade Industrial
Champcork- emiravall.ai@amorim.com

agradecimentos

O espaço limitado desta secção de agradecimento seguramente não é suficiente para reconhecer, como devia, a todas as pessoas que tiveram um papel fundamental para a elaboração do Estágio em Empresa e Dissertação de Mestrado.

Agradeço à Engenheira Elvira e ao Professor Avelino pelas suas orientações, transmissão de conhecimentos, opiniões e críticas e colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo.

A toda a equipa do laboratório de Controlo da Qualidade que me acolheu tão bem, sempre com muita disponibilidade e boa disposição: à Alice Manuela, Maria da Luz, Clementina Sousa, Conceição Pereira, Alice Miranda e Rita Guedes. À Rita Guedes, ainda agradeço a co-orientação tão preciosa, a partilha e amizade.

Não esqueço também todos os operadores e responsáveis que me transmitiram o seu vasto conhecimento na linha de produção.

À Professora Helena Alvelos, agradeço o apoio prestado que muito elevou o meu conhecimento e estimulou o meu desejo de fazer mais e melhor.

Às minhas amigas do norte, pela partilha dos bons e menos bons momentos na Universidade de Aveiro.

Às minhas amigas de sempre e aos meus companheiros de vida, os meus irmãos, por estarem sempre presentes e me aturarem.

À minha mãe, por acreditar sempre em mim e por todos os ensinamentos de vida. Espero que com esta etapa, que agora termino, possa retribuir toda a dedicação que nos ofereceu.

palavras-chave Cortiça; Controlo do Processo; Melhoria Contínua; Aglomerados; Poliuretano; Teste de Hipótese; QFD; Cartas de Controlo

resumo

Nesta dissertação apresentam-se os principais trabalhos realizados durante um estágio de seis meses numa fábrica de produção de rolhas de champanhe (rolhas aglomeradas) do Grupo Amorim, sendo o principal objetivo a avaliação do controlo existente e o desenvolvimento de propostas de melhoria. Para tal, empregou-se o projeto seis sigmas, mais propriamente o método DMAIC: **M**edir, **D**efinir, **A**nalisar, **M**elhorar (Improve) e **C**ontrolar. Iniciou-se com a definição do problema, descrevendo o que realmente se passava a nível do controlo na linha de produção; passando pela medição das características do produto e do processo a controlar; avaliando quantitativamente as várias fases do sistema de controlo do processo, utilizando a QFD (Desdobramento da Função da Qualidade) e analisando o comportamento do processo nos pontos mais críticos a partir de testes de hipóteses, para finalmente propor melhorias. Destas propostas foram implementadas as possíveis em termos de tempo, orçamento e responsabilidades. Ou seja, as que tinham apenas como base a mudança de equipamentos de medição, implementação de métodos de medição diretos, transição de responsabilidades e ainda, a implementação de cartas de controlo para as características geométricas das rolhas. Tudo isto executado pela alçada do departamento de qualidade.

Contudo, as propostas de alterações mais intrínsecas ao processo (no setor Moldação): passagem de um sistema de controlo manual, corretivo, *feedback* a um do tipo automático, preventivo/*feedforward/feedback*, que requer a instalação de sensores e implementação de métodos de integração de informação, foram apenas expostos à gerência.

Finalmente, a principal conclusão que se retirou do trabalho executado foi a ineficiente supervisão do controlo ou seja, apesar de existirem muitos dados retirados do processo não existia qualquer análise dos mesmos e muitas vezes os métodos utilizados não eram os mais adequados. Assim, as alterações propostas tiveram como objetivo a resolução deste problema, ao mesmo tempo que foram estandardizados métodos, revistas especificações e reavaliada e melhorada a capacidade do processo.

keywords Cork; Processo Control; Continuous Improvement; Agglomerate; Polyurethane; Hypothesis Tests; QFD; Control Charts

abstract

In this dissertation, we present the main tasks done in a six-month internship, concluded in a factory for producing champagne corks from *Amorim* Group. The main objective of our research was the evaluation of the pre-existing control and the development of improvement proposals. For these purposes, we used the six sigma specifically the DMAIC method. We started with the definition of the problem, describing what was indeed happening in the control production line; then, we briefly focused on the measurement of the process product characteristics; quantitatively evaluated the different phases of the system control process, using the QFD (Quality Function Deployment) and analysing the process behaviour through hypothesis tests in the most critical points to finally propose the improvements.

From all the proposals presented, we implemented the most realistic ones, in what concerns our time and budget restrictions, as well as our responsibilities. This means that we only implemented the ones that had in its core the change of measurement equipment, direct measurement methods and the transition of responsibility in the execution of the control phases. Additionally the implementation of the control charts for the geometric characteristics were executed in the same period though the quality department supervision.

Nevertheless, the proposals for the most intrinsic modifications in the process itself: transition from a manual, corrective, feedback control system to an automatic, preventive/feedforward/feedback control system, which requires implementation of sensors and integration of information, were dealt by the managing directors.

Finally, the main conclusion one can take is the inefficient supervision control, meaning that despite of the great amount of data took from the process, there was no analysis whatsoever of the latter. Often the methods used were not the most adequate. Thus, the modifications proposed had, as its main objective, the solution for the previous problem. In parallel, the methods were standardized, the specifications were reviewed and the process capacities were revaluated and improved.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABELAS	iii
NUMENCLATURA	iv
1) INTRODUÇÃO	1
1.1) CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2) OBJETIVOS	2
1.3) METODOLOGIA	3
1.4) ESTRUTURA	3
2) O PRODUTO E A EMPRESA	5
2.1) UNIDADE INDUSTRIAL CHAMPCORK	5
2.2) O PRODUTO	6
2.2.1) O sobreiro e o descortiçamento	6
2.2.2) A cortiça	7
2.2.2) O aglomerante	8
2.2.3) Rolhas Técnicas - <i>Rolhas Spark e Spark Top One (STO)</i>	10
3) CONTROLO E A QUALIDADE	13
3.1) SISTEMA DA QUALIDADE	13
3.1.1) Normalização	13
3.2) MELHORIA CONTÍNUA	14
3.3) MÉTODOS DE ANÁLISE	16
3.3.1) Testes de Hipótese	17
3.3.2) Comparar dois ou mais grupos independentes	18
3.3.2) Quantificar a associação entre duas variáveis: Correlação de <i>Pearson</i>	21
3.4) MÉTODOS DE CONTROLO DO PROCESSO	21
3.4.1) Cartas de Controlo	21
3.4.2) Capacidade e Centragem do Processo	25
4) IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase I e fase II	27
4.1) FASE I: DEFINIR	27
4.1.1) O processo	27
4.1.2) Caso de estudo: Moldação	28
4.1.3) Causas e efeitos: Características da qualidade	29
4.2) FASE II: MEDIR	31
4.2.1) Medições efetuadas na linha de produção para avaliação de características e condições.	31
5) IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase III	35
5.1) FASE III: ANALISAR	35
5.1.1) Identificação dos setores e parâmetros críticos para a qualidade ^[16]	35
5.1.1) Estudos dos relacionamentos entre os parâmetros de controlo prioritários e as características do produto	37
6) IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase IV e fase V	53
6.1) FASE IV: MELHORAR	53
6.2) FASE V: CONTROLAR	54
6.2.1) ANÁLISE DE DADOS DA MOLDAÇÃO: sistema integrado de informação	54
6.2.2) CARTAS DE CONTROLO PARA ANÁLISE DA GEOMETRIA DAS ROLHAS (diâmetro e comprimento)	55
7) CONCLUSÃO	57
BIBLIOGRAFIA	59
ANEXOS	60
ANEXO I: TABELAS DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CONTROLO DO PROCESSO	60
ANEXO II: TABELAS DE AVALIAÇÃO DO CONTROLO DO PROCESSO	62
ANEXO III: EXEMPLOS	68
ANEXO VI: TESTES ESTATÍSTICOS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Esquema organizacional simplificado da Corticeira Amorim.....	2
Figura 2- Volume de vendas Corticeira Amorim S.G.P.S., S.A. (2016).....	2
Figura 3- Metodologia utilizada na execução do trabalho.	3
Figura 4- Planta da Unidade Industrial ChampCork, Santa Maria de Lamas.	5
Figura 5- Constituição das paredes celulares da cortiça: A- Paredes terciária; B- Paredes secundária; C- Paredes primária.	7
Figura 6- Isómeros de TDI.	10
Figura 7- Composição de uma rolha de Champanhe	10
Figura 8- Síntese da classificação das rolhas de dois discos, de acordo com a qualidade dos discos de cortiça natural.	12
Figura 9- Representação de uma carta de controlo de Shewhart tradicional.....	22
Figura 10- Representações de comportamentos sistemáticos das observações nas cartas de controlo: (A) 7 ou mais pontos abaixo ou acima da linha central; (B) Tendência crescente ou decrescente de 7 ou mais pontos; (C) Deslocação da média/ Saltos de nível; (D) Periodicidade de pontos/ Ciclos.....	23
Figura 11- Representação de vários exemplos possíveis de controlo: (1) Processo sob controlo e não produção de peças defeituosas; (2) Processo sob controlo e produção de peças defeituosas; (3) Processo fora de controlo e não produção de peças defeituosas; (4) Processo fora de controlo e produção de peças defeituosas.....	25
Figura 12- Capacidade e centragem dos processos: (1) Processo não capaz e descentralizado; (2) Processo capaz e centralizado e (3) Processo capaz e centralizado.	26
Figura 13- Diagrama simplificado das etapas da produção de rolhas de champanhe e a quantidade de produção por minuto e por máquina.....	27
Figura 14- Fluxograma representativo dos vários setores de produção, tendo em conta as causas e efeitos nos respetivos produtos.....	30
Figura 15- Esquema do tabuleiro da moldação.....	38
Figura 16- Representação dos pesos médios (g) nos três grupos da análise de variância.....	39
Figura 17- Valores da humidade média de 20 corpos recolhidos ao longo do tempo em duas máquinas da moldação: (1) Máquina 2 (granulado proveniente do rotex 1); (2) Máquina 5 (granulado proveniente do rotex 2).	41
Figura 18- Representação gráfica da evolução dos valores de Absorção dos corpos aglomerados desde o ano de 2015 até à atualidade: (1) Nas várias máquinas da moldação; (2) Ao longo dos meses do ano.	42
Figura 19- Representação gráfica da %Expansão dos corpos produzidos nas várias máquinas (1) e a sua relação com os valores de %Absorção dos mesmos corpos (2).	45
Figura 20- Representação gráfica da média de valores de humidade do granulado utilizado em cada máquina (1) e ao longo dos meses (2) de 2017.....	46
Figura 21- Representação da relação existente entre a % Absorção e a humidade do granulado (1) e a expansão (2).	47
Figura 22- Resultados da simulação da reação de polimerização em laboratório, com variações na temperatura da estufa e tempo de residência na mesma.....	48
Figura 23- Esquematização da proposta de melhoria de controlo automático <i>feedforward+feedback</i> , para o setor Moldação.....	54
Figura 24- Representação de uma Carta de controlo do comprimento dos corpos topejados produzidos na máquina 2 (FASE I e FASE II).....	56
Figura 25- Representação de uma Carta de controlo do comprimento dos corpos topejados produzidos na máquina 2 (Centragem do processo).	56
Figura 26- Resultados do estudo da polimerização da cola (em laboratório) em vários tempos de residência e temperaturas da estufa.	69
Figura 27- Esquematização das interações que acontecem com o sensor micro-ondas de medição da humidade.	70

Figura 28- Exemplo de um sensor micro-ondas para medição da humidade: Hydro-Probe XT.	71
Figura 29- Exemplos de montagem do sensor micro-ondas.	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Especificações que a rolha deve apresentar no final do processo produtivo.	12
Tabela 2- Esquematização de uma <i>one-way ANOVA</i> .	19
Tabela 3- Tabela síntese das cartas de controlo de Shewart mais utilizadas.	24
Tabela 4- Classificação da capacidade do processo em relação aos valores obtidos do índice Cpk .	26
Tabela 5- Controlo do Processo: Como e quando as propriedades da qualidade são testadas ao longo de todos os setores.	32
Tabela 6- Escalas de avaliação de importâncias e relacionamentos utilizadas na elaboração do QFD.	36
Tabela 7- Escalas de avaliação do controlo e conhecimento técnico do processo utilizadas na elaboração do QFD.	37
Tabela 8- Resultados do teste de normalidade de K-S e Shapiro-Wilk e do teste de homogeneidade de variâncias para os três grupos nos quais é executada a análise de variância (SPSS).	39
Tabela 9- Resultados da análise de variância não paramétrica (Kruskal-Wallis) dos pesos dos corpos ao longo dos tabuleiros de moldação (SPSS).	39
Tabela 10- Resultados dos testes de correlações entre variáveis (na reação de polimerização): %Absorção dos corpos aglomerados (ABS); Humidade do granulado/ Quantidade de água adicionada (HR.GR); Humidade dos corpos (HR.CP); Densidade, Peso e Expansão dos corpos.	43
Tabela 11- Resultados do teste de normalidade dos valores da %Expansão nas várias máquinas de moldação e do teste de homogeneidade de variâncias dos valores da %Expansão (SPSS).	44
Tabela 12- Resultados do teste de variância entre grupos (máquinas da moldação): ANOVA (SPSS).	44
Tabela 13- Resultados do teste de Tukey para os valores de %Expansão dos corpos das várias máquinas de moldação (SPSS).	45
Tabela 14- Quantidades utilizadas nas misturas de granulado, cola e óleos em cada moldadora.	48
Tabela 15- Evoluções da humidade, comprimento e diâmetro dos corpos provenientes da moldação ao longo do tempo.	50
Tabela 16- Resultados dos testes de correlações entre as condições atmosféricas (Temperatura e Humidade) e a humidade dos corpos aglomerados ao longo do tempo.	52
Tabela 17- Ações de melhoria do controlo do processo propostas par os vários setores de produção.	53
Tabela 18- Agrupamento dos equipamentos utilizados no controlo do processo ao longo dos vários setores de produção: característica medida, descrição, precisão e fotografia.	60
Tabela 19- Valores orientativos para os ensaios de inserção e compressão executados no equipamento CitCork.	61
Tabela 20- Resultados da auditoria interna realizada para avaliação do controlo existente (inicialmente) aos parâmetros do processo.	62
Tabela 21- Análise da priorização dos parâmetros a controlar ao longo dos vários setores de produção.	65
Tabela 22- Especificações técnicas do sensor micro-ondas.	72
Tabela 23- Método de análise do coeficiente de correlação de Pearson ^[15] .	75

NUMENCLATURA

α	Probabilidade de ocorrer o erro do tipo I / Nível de significância (Testes Estatísticos)
β	Probabilidade de ocorrer o erro do tipo II (Testes Estatísticos)
χ^2	Valor tabelado para uma distribuição Qui-Quadrado (Testes Estatísticos)
C_p	Capacidade máxima do processo
C_{pk}	Capacidade real do processo
c_t	Comprimento da rolha ao tempo t (mm)
C_t	Avaliação do controle
C	Conhecimento
d_t	Diâmetro da rolha ao tempo t (mm)
df	Graus de Liberdade
F_0 ...	Estatística de teste (calculada): Teste paramétrico one-way ANOVA (Testes Estatísticos)
F	Valor tabelado para uma distribuição Normal (Testes Estatísticos)
g	Grupos a serem testados pelos Testes Estatísticos
GI	Grau de importância
H ..	Estatística de teste (calculada): Teste não-paramétrico Kruskal-Wallis (Testes Estatísticos)
H_1	Hipótese alternativa (Testes Estatísticos)
i	Nível: $i = 1, 2, \dots, g$ (Testes Estatísticos)
IQ	Índice da qualidade
IP	Índice de priorização
j	Valor das réplicas: $j = 1, 2, \dots, n_i$ (Testes Estatísticos)
m_i	Média associada à amostra que constitui o grupo i (Testes Estatísticos)
M_i ..	Mediana do grupo i (Testes Estatísticos)
N ..	Número total de observações: $N = \sum_{i=1}^g n_i$ (Testes Estatísticos)
n_i	Número de observações do grupo i (Testes Estatísticos)
r	Coeficiente de Pearson (Testes Estatísticos)
R	Intensidade dos relacionamentos
R_j ..	Soma das posições (<i>rank</i> s) do grupo j (Testes Estatísticos)
t	Tempo de estabilização (h)
X	Característica da qualidade a ser testada (Testes Estatísticos)
\bar{X}	Média de todas as observações: $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$ (Testes Estatísticos)
x_{in}	Observação n do grupo i (Testes Estatísticos)
X_i	Número total de observações para o grupo i (Testes Estatísticos)
\bar{X}_i	Média de observações do grupo i : $\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$ (Testes Estatísticos)
APCOR	Associação Portuguesa de Cortiça
CIPR	Código Internacional das Práticas Rolheiras
HR	Humidade Relativa
MSE ..	Variância entre grupos (Testes Estatísticos)
MSD ..	Variâncias dentro dos grupos (Testes Estatísticos)
NQA	Nível de Qualidade aceitável
PU	Poliuretano
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> : Desdobramento da Função da Qualidade
SYSTECODE	Sistema de Acreditação de Empresas da Indústria da Cortiça
SST	Variabilidade total das observações X_{ij} em relação à media global (Testes Estatísticos)

SSE Variabilidade das observações entre grupos (Testes Estatísticos)
SSD Variabilidade das observações dentro dos grupos (Testes Estatísticos)
SPC Controlo Estatístico de Processos: *Statistical Process Control*



1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo expõe-se o motivo do desenvolvimento deste trabalho, como também um pequeno enquadramento da situação e os objetivos e metodologias que foram utilizados para sua elaboração. Finalmente, descreve-se a organização estrutural que o relatório vai seguir.

1.1) CONTEXTUALIZAÇÃO

Uma das indústrias que mais se destaca em Portugal é a indústria corticeira, onde a cortiça e o sobreiro são os protagonistas, onde 34% da área global de sobreiros tem a responsabilidade de gerar cerca de 49% da produção global de cortiça (APCOR, 2015b).

Atualmente o sector conta com quase 650 empresas a operar em Portugal, que produzem perto de 40 milhões de rolhas por dia (35 milhões das quais no norte do País), empregando nove mil trabalhadores.

Portugal também é líder mundial do sector da cortiça no que toca às exportações, o principal sector de destino dos produtos de cortiça é a indústria vinícola que absorve 70% de tudo o que é produzido. Dentro do segmento de rolhas de cortiça, as rolhas naturais surgem em primeiro lugar com 62%, seguidas pelas rolhas de champanhe com 20%.

É neste contexto que surge o presente trabalho em colaboração com a empresa Amorim&Irmãos S.A: Unidade ChampCork, já que a corticeira Amorim é líder mundial no sector da cortiça e destaca-se recentemente pela expansão para mercados não afetados pela crise europeia. Esta organização também é uma referência pela aposta em inovação e desenvolvimento, sobretudo na melhoria dos seus processos e produtos.

Líder do setor há 143 anos, representados por 511 milhões de euros de volume de negócios anual em 103 países, as suas operações estendem-se por todo o mundo, sendo asseguradas por oito unidades industriais em Portugal e outras tantas filiais no exterior; estrategicamente localizadas nos mais importantes países produtores de vinho e que são responsáveis pela distribuição dos produtos à escala mundial.

O setor divide-se em cinco áreas de negócio (Figura 1): Matérias-primas, Rolhas, Revestimentos, Aglomerados de compósitos e Isolamentos, sendo as rolhas a principal área de negócio, representando 65% do volume vendas como apresentado na Figura 2.

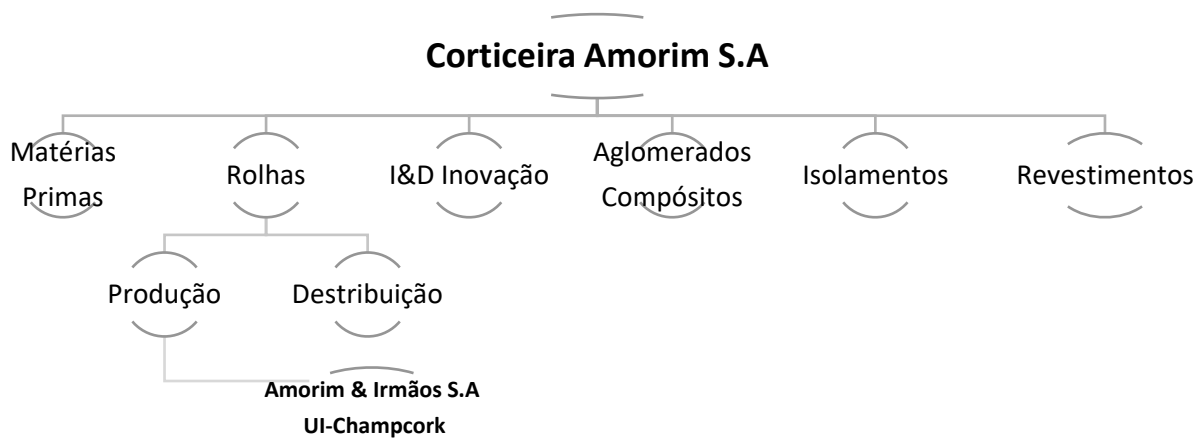


Figura 1- Esquema organizacional simplificado da Corticeira Amorim

O estágio que deu origem a esta dissertação foi realizado na Unidade ChampCork que se insere na área de negócios da produção de rolhas, como apresentado na Figura 1.

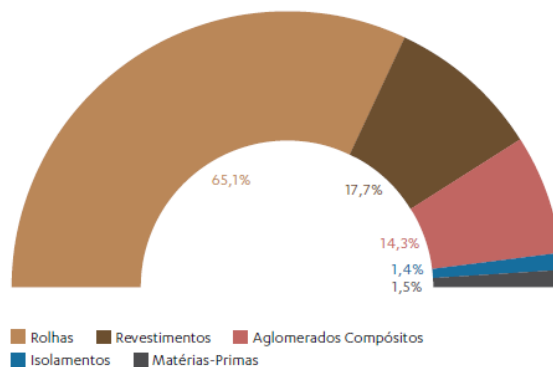


Figura 2- Volume de vendas Corticeira Amorim S.G.P.S., S.A. (2016)

O produto que se vai tratar, a rolha de champanhe tem características tão próprias como as bebidas que vai vedar e é produzido em condições muito rígidas para chegar a um produto de qualidade máxima.

Mas com o aumento crescente da sua procura e subsequente produção, juntamente com a cultura de poupança e sustentabilidade que se faz sentir, exige-se maior rigor, controlo e melhoria dos processos, para ser mantida a qualidade do produto final.

1.2) OBJETIVOS

Este trabalho tem como assunto o controlo do processo de fabrico de rolhas de champanhe pela Amorim&Irmãos S.A: Unidade ChampCork. Como tal, o principal objetivo é acompanhar todas as fases do processo de fabrico deste tipo de rolhas, realizar uma análise detalhada das fases de controlo executadas em cada setor; verificar conformidades ou não-conformidades de acordo com as normas estipuladas interna e externamente; definir pontos críticos e finalmente propor possíveis melhorias a implementar.

Para isso, é importante definir os setores e características que são mais importantes e indispensáveis de controlar, focalizando-se sempre o trabalho no melhoramento da qualidade do produto final e no aumento da capacidade do processo.

Assim, o objetivo concreto é reconhecer, analisar e corrigir os fatores de variabilidade das características de qualidade; melhorar e atualizar os métodos estatísticos computacionais; identificar novas formas de controlo, se possível implementando-as, e definir as respetivas ações corretivas a fazer nas linhas de produção atuais.

1.3) METODOLOGIA

A Figura 3 apresenta a metodologia utilizada na execução do trabalho elaborado ao longo da dissertação, mais propriamente do Estágio em Empresa.

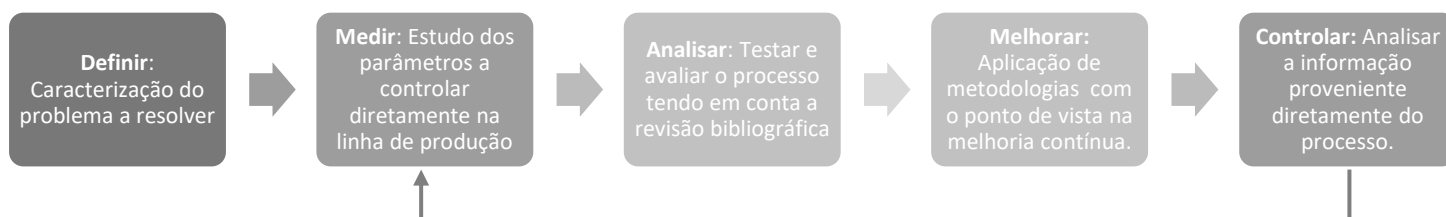


Figura 3- Metodologia utilizada na execução do trabalho.

Numa primeira instância pretende-se conhecer a empresa onde o trabalho será realizado, mais propriamente a Unidade Champcork, e todos os seus setores. Pretende-se conhecer o processo produtivo focalizando-se sempre no objetivo e problema proposto pelo tema do trabalho.

Numa segunda fase, é executado o estudo do caso, onde existe uma investigação intensa sobre o assunto, mais propriamente sobre as atividades executadas no controlo do processo, analisando com mais detalhe os parâmetros medidos e o modo como esta ação é feita. Este passo é constituído por pesquisas e observação direta nas linhas de produção, troca de informação com as várias partes envolvidas ou análise de arquivos. Estas análises são do tipo qualitativo, mas também quantitativo.

Assim, existe uma recolha de dados que posteriormente vão ser analisadas. À medida que vai havendo este trabalho/ observação de campo há uma pesquisa paralela de métodos, metodologias, teorias que são essenciais para a terceira fase deste trabalho.

Numa quarta fase propõem-se melhorias nos setores (mais necessitados) identificados nas fases anteriores e implementam-se as possíveis no tempo e condições de estágio estipuladas.

Posto isto, numa última fase a informação que reflete o comportamento do processo deve ser analisada, concluindo se o objetivo proposto foi alcançado através da aplicação das melhorias propostas. Havendo aqui uma interação com as fases anteriores.

Também é importante haver sempre uma análise crítica ao longo de todo o trabalho para deixar sugestões para trabalhos futuros.

1.4) ESTRUTURA

O presente trabalho tem a seguinte estrutura:

• Capítulo 1: Introdução

Apresenta-se uma introdução aos conteúdos abordados, o contexto da realização do trabalho, o objetivo e metodologia aplicada na elaboração da presente dissertação;

- **Capítulo 2: O Produto e a Empresa**

Realiza-se uma apresentação da empresa em que realizou o estágio e também do produto por ela produzido e tratado neste trabalho.

- **Capítulo 3: Controlo e a Qualidade**

Esta segunda parte da revisão bibliográfica baseia-se essencialmente na Gestão da Qualidade, Sistema de Controlo Estatísticos e outras metodologias pertinentes para o controlo de processos industriais e para a execução das análises executadas durante o trabalho.

Os capítulos seguintes (4, 5 e 6) vão ser organizados segundo o sistema *DMAIC* do projeto seis sigmas com o objetivo da melhoria contínua.

- **Capítulo 4: Implementação de Metodologias com vista a Melhoria Contínua (FASE I e FASE II)**

- *Fase I – Definir*

Aqui descreve-se a organização do processo em cada setor produtivo, ou seja, o percurso levado na produção de rolhas de champanha e as respetivas características da qualidade que têm de ter certos valores especificados. Também neste capítulo descreve-se com mais detalhe o funcionamento da secção de Moldação e alguns fenómenos que lá acontecem.

- *Fase II – Medir*

Neste capítulo reúne-se os métodos utilizados na medição dos parâmetros para o controlo do processo.

- **Capítulo 5: Implementação de Metodologias com vista a Melhoria Contínua (FASE III)**

- *Fase III – Analisar*

A fase analisar reúne todas as avaliações e testes feitos para conhecer melhor o processo e o seu sistema de controlo.

- **Capítulo 6: Implementação de Metodologias com vista a Melhoria Contínua (FASE IV e FASE V)**

- *Fase IV – Melhorar*

Neste capítulo é onde estão apresentadas as sugestões de melhorias a efetuar para melhorar o controlo do processo e o próprio processo em si.

- *Fase V – Controlar*

Finalmente descreve-se as duas novas formas de controlar o processo: sistema integrado de informação: *feedback+feedforward* (setor moldação) e as cartas de controlo da geometria das rolhas (topejamento e retificação).

- **Capítulo 7: Conclusões**

Finalmente, apresentam-se considerações finais sobre a metodologia apresentada, conclusões gerais dos estudos e sugestões para trabalhos futuros.

2) O PRODUTO E A EMPRESA

Neste capítulo é feita uma breve abordagem à Corticeira Amorim, mais propriamente à Unidade Champcork, onde se realizou o estágio, e onde acontece o processo de produção de rolhas técnicas, matéria estudada nesta dissertação.

2.1) UNIDADE INDUSTRIAL CHAMPCORK

A Unidade Champcork pertence ao Grupo Amorim & Irmãos, S.A e foi fundada em 1982. Situada em Santa Maria de Lamas, é produtora de rolhas aglomeradas de cortiça, denominadas rolhas técnicas, destinadas à vedação de champanhe e vinhos espumantes: sendo as rolhas *Spark*, a sua especialidade. Mas também é responsável pela produção de rolhas *Spark Top One* (STO), destinadas a vinhos tranquilos, gaseificados, cervejas e sidras.^[Capítulo 2.2]

A produção anual desta unidade é de 500 milhões de rolhas, onde 90% destinam-se à exportação para 25 países dos 5 continentes, tais como França, Itália Espanha, Alemanha., E.U.A, Austrália e África do Sul.

Esta unidade industrial dá muita importância à redução de energia elétrica, a partir da utilização dos resíduos de cortiça (produto sem utilidade) para produção de energia em caldeiras de biomassa, que é utilizada para o aquecimento de toda a unidade industrial. Aumentando assim, o nível de sustentabilidade da unidade e diminuindo os custos de energia, possibilitando o investimento em outras áreas para a melhoria contínua. Atualmente, a UI Champcork tem-se dedicado inteiramente à implementação do sistema MES (*Manufacturing Execution Systems*), que numa fase inicial vai melhorar fatores como a rastreabilidade, controlo da produção, coordenação de atividades entre setores e gerenciamento de atividades de chão-de-fábrica.

Esta unidade industrial encontra-se certificada ao nível da qualidade pela norma ISO 9001, ao nível da segurança alimentar pela norma ISO 22000 e ainda pelas normas FSC STD-40-003 e FSC STD-40-004.

A unidade industrial em questão baseia-se numa integração vertical, ou seja, desde a entrada da matéria-prima até à expedição do produto embalado a UI está organizada da melhor forma nos vários setores para permitir uma boa organização das fases de produção e respetivo controlo, como é representado na Figura 4.



Legenda:

- 1- Receção de granulado (matéria prima);
- 2- Moldação;
- 3- Topejamento, Colagem e silos de estabilização;
- 4- Retificação e Escolha Eletrónica (Linha A);
- 5- Retificação e Escolha Eletrónica (Linha Omar);
- 6- Marcação, Tratamento, Embalagem e Expedição;
- 7- Pavilhão F2 (integra os passos 4/5 e 6 apenas para certos clientes mais exigentes);
- 8- Laboratório de Qualidade.

Figura 4- Planta da Unidade Industrial ChampCork, Santa Maria de Lamas.

2.2) O PRODUTO

2.2.1) O sobreiro e o descortiçamento

Apesar do sobreiro (*Quercus suber L.*) ser uma árvore característica do território português, que se encontra basicamente a sul do Tejo, esta também pode ser encontrada na zona ocidental do mediterrâneo, em zonas que têm um clima de influência atlântica. Ocupando assim, mundialmente, 2,2 milhões de hectares com cerca de 1,4 milhões na região oeste mediterrânica, dos quais 736 775 se situam em Portugal e representam cerca de 50% da capacidade produtiva mundial. A restante capacidade encontra-se localizada em Espanha (31%), Itália, França e no norte de África (Marrocos, Tunísia e Argélia).^[1]

O sobreiro tem um tempo de vida entre os 170 a 200 anos, apesar dos muitos descortiçamentos a que é submetido ao longo da sua existência.

Esta árvore sobrevive mesmo em ambientes com elevadas temperaturas e escassez de água, com temperaturas entre os -5°C e 40°C e com uma precipitação mínima anual de 400 mm e máxima de 1700 mm, e em um solo com um pH entre 4,8 e 7,0.^[1]

É, ainda, a única árvore que se regenera após lhe ser retirada a cortiça do tronco, isto é, consegue produzi-la de novo. Desta forma e ao contrário do que acontece com outras culturas florestais destinadas a transformações industriais, a cultura do sobreiro não implica a degradação do ambiente, não apresentando, assim, tantos aspetos ambientais negativos.

Por outro lado, a plantação de sobreiros contribui para a fixação de uma fauna natural variada, evitando a desertificação e apoiando diversas atividades de pastorícia.

O sobreiro é uma árvore protegida em Portugal e tem regimes de proteção abrangidos por leis governamentais, de maneira a manter sustentável a sua exploração e produção de cortiça. No Decreto-Lei nº 169/2001 está definido em que condições se pode abater um sobreiro, ou seja, qual o regime de proteção que abrange esta árvore.

A mais importante operação, o descortiçamento, é efetuado entre o final da primavera e o verão, normalmente entre os meses de Maio e Agosto, numa fase mais ativa do crescimento da árvore tornando-se mais fácil descascá-la sem ferir o tronco.

No primeiro descortiçamento, a chamada “desbóia”, obtém-se uma cortiça de estrutura muito irregular e com uma dureza elevada, denominada de cortiça virgem e com a qual é muito difícil trabalhar, sendo apenas utilizada para aplicações como pavimentos ou isolamentos. Nove anos depois, no segundo descortiçamento, obtém-se um material com uma estrutura regular, menos dura, mas ainda impróprio para o fabrico de rolhas e que se designa por cortiça secundária. Apenas a partir do terceiro descortiçamento obtém-se a cortiça com as propriedades adequadas para a produção de rolhas de qualidade, uma vez que esta já apresenta uma estrutura regular com costas e barriga lisas. É a chamada cortiça amadia ou de reprodução.^[2]

Assim, de nove em nove anos, após 25 anos da plantação a cortiça é extraída do tronco e ramos do sobreiro sob a forma de peças semi-tubulares.

Um sobreiro pode dar entre 30 a 220 kg de cortiça amadia, isto dependendo da superfície de descortiçamento, e a produtividade deste pode ir em média dos 8 a 11 kg/m² de área de descortiçamento por ciclo de produção.^[1]

2.2.2) A cortiça

A cortiça é definida como sendo a casca protetora do sobreiro e, tecnicamente, como um tecido suberoso que faz parte do sistema da periderme (pele). Esta matéria-prima é constituída por camadas de células de aspeto alveolar, formadas maioritariamente por suberina, cujas membranas celulares são ocupadas com uma mistura de gases semelhante ao ar que ocupa cerca de 90% do seu volume

Esta é constituída quimicamente por:

- Suberina (45%) – Responsável pela elasticidade da cortiça;
- Lenhina (27%) - Composto isolante que compõe a estrutura das paredes celulares;
- Polissacáridos (12%) – Ajuda a definir a textura da cortiça;
- Ceróides (6%) – Composto hidrofóbico que assegura a impermeabilidade da cortiça;
- Taninos (6%) – Composto polifenólico que é responsável pela cor da cortiça;
- Cinzas (4%).

As propriedades físico-químicas da cortiça são condicionados pela espessura das membranas celulares dos alvéolos e pelo próprio tamanho destas células. Esta espessura varia consoante a altura do ano, sendo menos espessa na Primavera-Verão.^[3]

A parede celular das células de cortiça apresenta cinco camadas (Figura 5): duas de natureza celulósica que forram as cavidades celulares (parede terciária); duas mais interiores constituídas por suberina (parede secundária) e uma camada média lenhificada (parede primária).

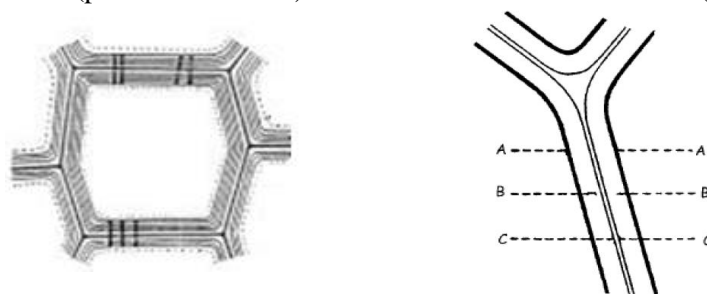


Figura 5- Constituição das paredes celulares da cortiça: A- Parede terciária; B- Parede secundária; C- Parede primária.

Estas características confere à cortiça propriedades, como: leveza, uma vez que as suas células estruturais são ocupadas por oxigénio e azoto; flexibilidade/compressibilidade, uma vez que pode ser comprimida até metade da sua largura, voltando a adquirir a forma original; impermeabilidade, pois apresenta suberina e cerina, substâncias de baixa polaridade e portanto hidrófobas, que garantem a impermeabilidade de líquidos e gases; isolamento, resultante da sua capacidade de dissipação da energia de vibração e resistência, pois possui um elevado coeficiente de atrito.

Uma das propriedades da cortiça mais mencionadas é a sua estabilidade química e impermeabilidade. Mas na realidade as células possuem um teor de permeabilidade baixo, que depende da quantidade de suberina existente nas suas paredes, ou seja, é errado dizer que a cortiça seja um material 100% impermeável. Posto isto, é importante referir que durante o tratamento industrial da cortiça ocorre absorção de água pelas suas células, levando a alterações de massa, volume e dimensões.^[4]

A absorção de água pela cortiça também está diretamente ligada à porosidade deste material, ou seja, a quantidade de poros existentes na cortiça e a área que ocupam. No caso do trabalho com produtos aglomerados, esta porosidade tem em parte origem no processo de aglomeração e não provém somente da característica da matéria-prima.

2.2.2) O aglomerante

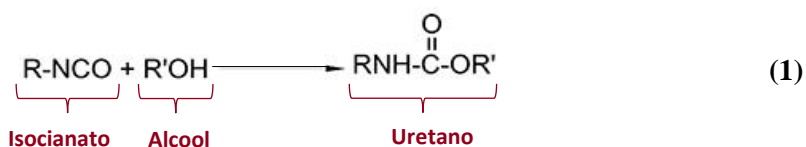
Sendo o produto formado nesta unidade industrial constituído por um corpo aglomerado é essencial perceber como ocorre a síntese do aglomerante (pré-polímero de poliuretano) e como ocorre a reação de polimerização do mesmo.

Quimicamente os poliuretanos são caracterizados pela ligação uretano a qual aparece repetida várias vezes, mas não necessariamente de uma forma regular. Para além do grupo uretano, outros grupos podem fazer parte da molécula do polímero tais como os grupos éster, éter, alofanato, ureia, amida, entre outros.

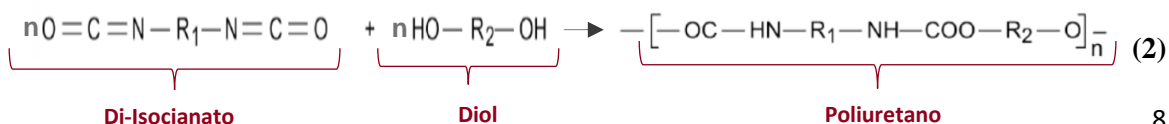
Os dois reagentes necessários para a reação de formação de um grupo uretano são um isocianato e um composto com uma função álcool. Os isocianatos podem no entanto reagir com outros compostos que tenham hidrogénios móveis, como água, aminas primárias e secundárias, ácidos carboxílicos, amidas. São estes grupos e a forma como se estruturam ao longo da cadeia que definem muitas das propriedades do produto final.^[5]

Reação de polimerização

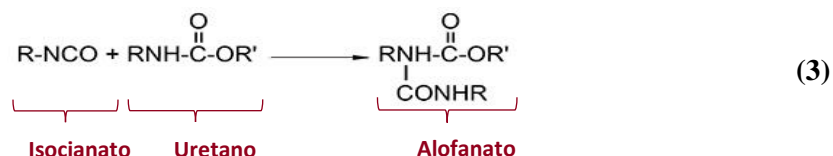
A formação da matriz sólida resulta da reação química, também conhecida como reação de gelificação, entre um álcool polifuncional ou polioli e um isocianato de forma a dar origem a um poliuretano ramificado. A reação base é apresentada na Equação 1: Reação base de formação do grupo poliuretano.



A reação de polimerização é, neste caso, uma reação de poli-adição por passos, sem produtos de condensação (Equação 2: Reação de formação de poliuretano a partir de diol e diisocianato). Em termos cinéticos a reação caracteriza-se por um aumento gradual do grau de polimerização ao longo do tempo com os monómeros a serem rapidamente consumidos no início da síntese com formação quase imediata de dímeros e trímeros.^[6]

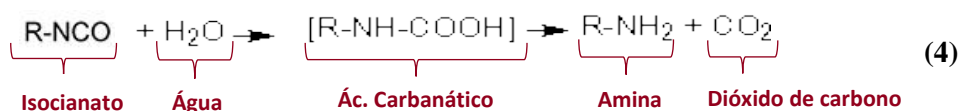


Devido à reatividade do grupo isocianato pode existir uma reação secundária favorecida pelas altas temperaturas desenvolvidas durante o processo de cura do polímero, originando ligações alofanato por reação reversível do isocianato com o uretano (Equação 3: Reação secundária da polimerização- Formação do grupo alofanato.), reação esta classificada como lenta.

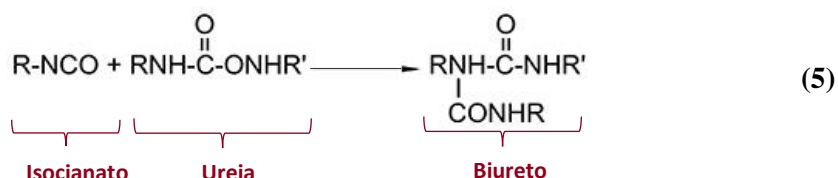


Reação de expansão

A reação de expansão, ou reação de sopro, também ocorre em duas etapas sendo que na etapa inicial é produzido o dióxido de carbono que é o gás responsável pela expansão do polímero (Figura 4: Reação de expansão do polímero). Por isto é possível utilizar a água como agente expensor na produção de espumas de poliuretano, sempre que a viscosidade e a tensão superficial sejam adequadas.^[7]



Como na reação de polimerização, Equação 2, a segunda etapa onde existe formação de grupos funcionais biureto, também é favorecida pelas altas temperaturas desenvolvidas durante o processo de cura do polímero, esta reação também é reversível e é classificada como muito lenta (Equação 5: Reação secundária da expansão- Formação do grupo biureto).



Atualmente a tecnologia de poliuretanos permite que estes sejam obtidos através de um processo de uma etapa (*one-shoot*), onde a mistura dos vários componentes é efetuada apenas numa etapa e num curto período de tempo. Ou através de um processo de duas etapas no qual a utilização de pré-polímeros é fundamental.^[8]

Este último processo, permite um grande controlo da reação de poli-adição, na construção de segmentos estruturais por medida e é constituído por uma primeira etapa, onde é produzido o pré-polímero, fazendo reagir um excesso de isocianato com um poliol, em determinadas proporções de acordo com o teor *NCO* desejado, num reator descontínuo agitado.

A reação é conduzida sob forte agitação e atmosfera inerte a uma temperatura máxima de 100°C de modo a evitar a formação de ligações cruzadas alofanato.^[9]

Numa segunda etapa ocorre o processo de cura, com a adição de um agente reticulante que pode ser um poliol, uma amina ou simplesmente água.

Atualmente, estão disponíveis uma grande variedade de pré-polímeros com teores de *NCO* que podem ir desde 1 a 2%, como os utilizados na produção de aglomerantes para cortiça até 20%, utilizados em espumas microcelulares na indústria de calçado. ^[10]

Na indústria corticeira hoje em dia são utilizados pré-polímeros de poliuretano, contrapondo aos aglomerantes de resinas fenólicas, resinas cardólicas e resinas ureia-formaldeído utilizados no passado. ^[10]

Os isocianatos mais usados na produção de rolhas de cortiça são o diisocianato de tolueno (*TDI*), que é uma mistura de isómeros 2,4 – *TDI* e 2,6 – *TDI* (Figura 6) em proporções 80:20 ou 65:35, com diferentes reatividades que permitem a existência de teores de iocianato livre de 3,5 a 5,5%.

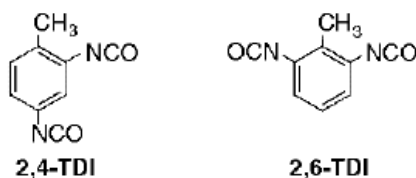


Figura 6- Isómeros de TDI.

A utilização de polímero de poliuretano tem vantagens como a excelente resistência ao calor e humidade; a grande resistência mecânica; a inocuidade, quando são puras não existe emissões; a certificação para uso alimentar e a possibilidade de produzirem produtos rígidos ou altamente flexíveis. Por outro lado, é necessário muito cuidado e um controlo apertado aos níveis de *TDI* livre existentes.

2.2.3) Rolhas Técnicas - Rolhas *Spark* e *Spark Top One* (STO)

O grupo Amorim produz uma vasta gama de rolhas de acordo com o tipo de garrafa e as características do vinho, incorporando tecnologias desenvolvidas para cada fase de produção, garantindo ao mercado qualidade e eficiência. Entre elas encontra-se a tão singular rolha de champanhe, onde a sua formulação mais comum é a apresentada na Figura 7.

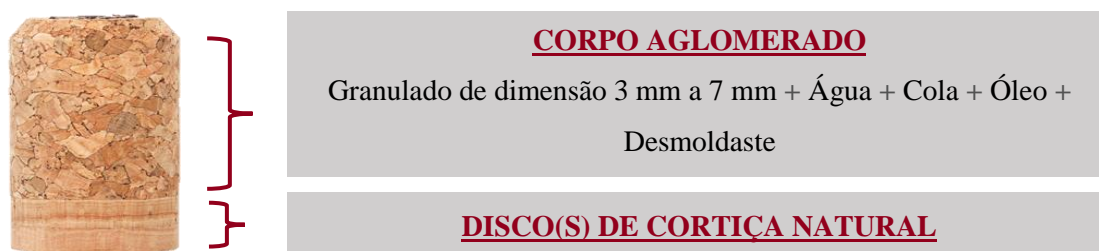


Figura 7- Composição de uma rolha de Champanhe

As rolhas de champanhe ou rolhas *Spark* são compostas por um corpo de granulado aglomerado com dois discos de cortiça natural de elevada qualidade na extremidade que entra em contacto com a bebida. Quando existe apenas um disco de cortiça natural na extremidade são designadas por rolhas *Spark Top One*.

Os grânulos são produzidos a partir dos subprodutos de cortiça, resultantes das pranchas delgadas ou da brocagem das rolhas naturais. As pranchas para o fabrico de discos são selecionadas e cozidas recorrendo a um processo idêntico ao que é utilizado nas pranchas para rolhas naturais. Depois de estabilizarem, os dois lados das pranchas são aparados para produzir lâminas macias e uniformes com cerca de 6,5 mm de espessura. Estas pranchas são perfuradas por máquinas de brocar ao longo das linhas de crescimento da cortiça, o que permitirá aos discos exercerem uma pressão forte e uniforme no interior do gargalo de uma garrafa de vinho. Em seguida, os discos são separados por classes eletronicamente.

Os discos são a parte da rolha técnica que está em contacto com o vinho. Para assegurar uma higiene em profundidade, a Amorim patenteou o processo de lavação *INOS II*, que bombeia água purificada sem cloro a 70°C. Este processo de lavagem provoca a contração e dilatação das células da cortiça e obriga os contaminantes a sair.

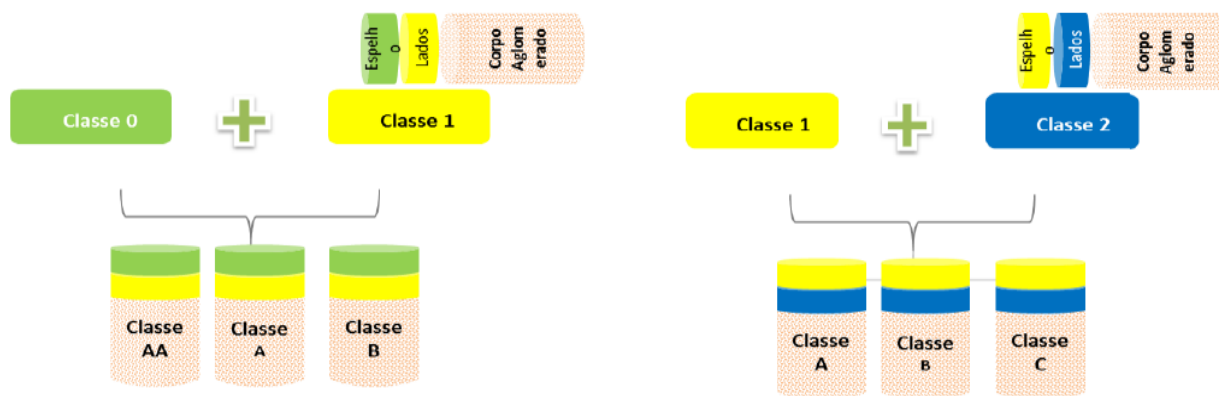
Os grânulos destinados ao corpo das rolhas técnicas, são pulverizados e filtrados antes da aglomeração. Escolhem-se os que têm um diâmetro de 3 mm a 7 mm, por proporcionarem maior força e elasticidade à rolha. Estes passam pelo processo de destilação de vapor *ROSA*.

Este tipo de rolha técnica apresenta excelentes performances físicas, químicas e enológicas, destacando-se como principais vantagens o comportamento mecânico e a facilidade de engarrafamento devido à elasticidade própria da cortiça presente no granulado e nos discos.

Devido ao seu maior diâmetro, destinam-se a vinhos que conjugam uma pressão extrema com uma subtil delicadeza, ou seja, aos melhores espumantes e champagnes.

A produção destas rolhas técnicas é executada em vários calibres, sendo os *standart*: 48x30,5 mm; 48x31 mm; 47x29,5 mm.

As rolhas podem ser classificadas quanto à qualidade da cortiça, mais propriamente dos seus discos de espelho e lados. Estes são classificados relativamente ao seu aspeto visual (classe 0, 1, 2, 3 e 4), sendo atribuído o melhor aspeto à classe 0 e o pior à classe 4. Dependendo desta análise de qualidade dos discos pode ser atribuída uma classificação às rolhas de champagne, da melhor para a pior: AA, A, B, C, D, E e F, como é simplificado na Figura 8.



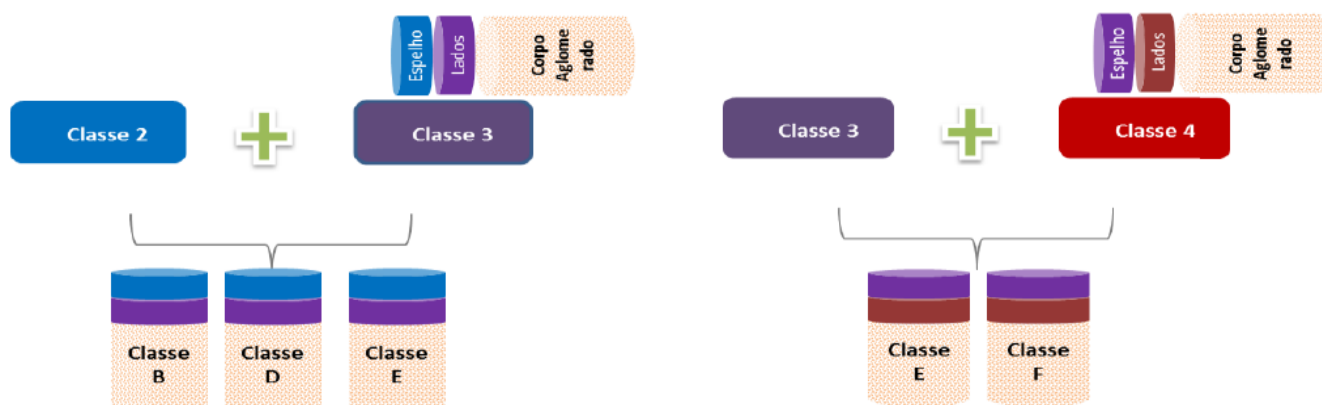


Figura 8- Síntese da classificação das rolhas de dois discos, de acordo com a qualidade dos discos de cortiça natural.

As especificações que o produto final (a rolha) tem de possuir são fixadas pelo nível de qualidade aceitável (NQA), referentes à Norma ISO 2859-1 ou quando são provenientes de ensaios internos têm como referência as normas NP 2803 (Rolhas de Cortiça-Ensaio Físicos). Estas encontram-se na Tabela 1.

Para estas características serem atingidas terá de haver um controlo rigoroso durante todo o processo, como vamos analisar mais detalhadamente nos capítulos seguintes.

Tabela 1- Especificações que a rolha deve apresentar no final do processo produtivo.

ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES	
		SPARK TOP ONE	SPARK
Dimensionais	Comprimento	$\pm 0,5 \text{ mm}$	$\pm 0,5 \text{ mm}$
	Diâmetro	$\pm 0,3 \text{ mm}$	$\pm 0,3 \text{ mm}$
	Ovalidade	$\leq 0,3 \text{ mm}$	$\leq 0,3 \text{ mm}$
	Espessura dos discos	$\geq 4,5 \text{ mm}$	1º $\geq 4,5 \text{ mm}$ 2º $\geq 5,5 \text{ mm}$
	Chanfro	$3,5 - 4,5 \text{ mm e } 45^\circ$	$3,5 - 4,5 \text{ mm e } 45^\circ$
Físico-químicos	Teor de pó	$\leq 2 \text{ mg/rolha}$	$\leq 2 \text{ mg/rolha}$
	2,4,6-TCA	-	-
Físico-mecânicos	Peso	-	$8 - 10,5 \text{ g (d-30.5 mm)}$ $8 - 10,5 \text{ g (d-31 mm)}$
	Peso específico	$230 - 290 \text{ kg/m}^3$	$235 - 295 \text{ kg/m}^3$
	Momento de torção	$\geq 35 \text{ daN.cm}$	$\geq 35 \text{ daN.cm}$
	Ângulo de torção	$\geq 35^\circ$	$\geq 35^\circ$
	Humidade	$4\% - 9\%$	$4\% - 9\%$
	Força de inserção	$120 \pm 20 \text{ daN}$ (valores orientativos)	$120 \pm 20 \text{ daN}$ (valores orientativos)
	Comportamento em água fervente	Ausência de degradação	Ausência de degradação
Sensorial	Vedação ao gás	$\leq 6 \text{ bar}$	$\leq 6 \text{ bar}$
	Características Sensoriais	$TCA \leq 1\%$ $off - flavours \leq 1\%$	$TCA \leq 1\%$ $off - flavours \leq 1\%$

3) CONTROLO E A QUALIDADE

O principal objetivo do controlo de qualidade é a prevenção de produtos defeituosos. Numa organização podem ser identificadas diversas máquinas, ferramentas, materiais, pessoas, métodos, ambiente de trabalho que vão dar origem a um produto, que deve estar isento de quaisquer falhas que não atentem às especificações de Engenharia, ou seja, isentos de não-conformidades.

Assim, o processo será eficiente quando for executado em conformidade com padrões e procedimentos previamente estabelecidos, isto é, conforme planeado, e será eficaz quando o produto final não tiver defeitos e for adequado à utilização a que se destina.

Então, gerir um processo consiste em conhecer bem todas as fases do processo, observá-lo constantemente, mantendo-o sob controlo e melhorá-lo continuamente, procurando sempre a eliminação de causas de possíveis falhas.

3.1) SISTEMA DA QUALIDADE

A maneira racional, lógica e organizada de recolha de informação, tratamento e análise de dados para intervenção atempada no processo e consequente melhoria, baseada em conclusões retiradas de testes executados ao processo e produto é um dos pontos mais relevantes dos Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), que de acordo com a NP EN ISO 9001 é denominado “*Medição, Análise e Melhoria*”.

Isto consiste em adaptar métodos contínuos que permitam reconhecer os problemas e propor ações corretivas, implantá-las e dar sequência a uma postura pró-ativa, agindo corretamente.

Com isto, a existência de SGQ nos processos produtivos tem um papel muito importante, pois encara a atividade como um trabalho global, onde se tem em conta todos os setores e áreas da produção.

3.1.1) Normalização

As normas são ferramentas essenciais nos processos industriais pelo simples facto de permitirem a parametrização e organização das características quer do processo quer do produto. A normalização é, hoje em dia, procurada pela gestão de topo na procura de organização de ideias e na criação de bases de simples acesso e utilização para que nenhum conhecimento se dissipe.

A criação de normas surge com a necessidade de resolução de problemas identificados, os quais não são desejados para projetos futuros. A normalização constitui assim mais uma ferramenta da filosofia *Kaizen*, implementando notáveis melhorias.

O procedimento de normalização deve ser simples, intuitivo e de fácil utilização, a fim de se criar informação que fique disponível na organização e contrarie o conhecimento individualizado.

Na unidade industrial em questão existem várias normas e instruções internas para procedimentos de controlo do processo, de análise de qualidade do produto ou mesmo de limpeza e gestão. Estas devem ser seguidas pelas partes interessadas e para isso estão disponíveis nos locais em que se tem de proceder à ação normalizada e também num sistema interno.

No caso de normas externas e de práticas que têm de ser seguidas pela indústria em geral, tomam os lugares mais importantes a norma da qualidade NP EN ISO 9001 e o Código das Práticas Rolheiras.

Na NP EN ISO 9001 são muito claros os seguintes pressupostos: há que garantir o respeito pelas especificações técnicas (satisfação dos clientes) ao mesmo tempo que as empresas recolhem informações valiosas para promover a melhoria contínua das suas atividades. Esta norma implementa o cumprimento de oito princípios de gestão da qualidade: *Focalização no Cliente; Liderança; Envolvimento das pessoas; Abordagem por processos; Abordagem à gestão através de um Sistema de Garantia e Qualidade (SGQ); Melhoria contínua; Abordagem à tomada de decisões baseada em factos; Relações mutuamente benéficas com fornecedores, clientes e trabalhadores.*

O Código Internacional das Práticas Rolheiras (CIPR) foi criado com o intuito de implementar normas de controlo de qualidade ao longo de todo o processo produtivo, garantindo aos produtores e engarrafadores de vinho um produto livre de contaminações. Este código descreve e estabelece os procedimentos a serem executados pela indústria da cortiça para que exista um controlo absoluto de qualidade, desde o momento da estabilização da cortiça até ao transporte das rolhas.

Associado ao CIPR, foi criado o sistema de acreditação SYSTECODE. Em treze anos de implementação do sistema a adesão das empresas cresceu 85% a nível mundial (de 170 empresas para 314) e 178% em Portugal (de 87 para 242 empresas).

Com tudo isto, a garantia de qualidade na fabricação de rolhas de cortiça tem como principais objetivos a obtenção de rolhas com a sua mais importante funcionalidade, ou seja, rolhas vedantes; com inocuidade e em processos eficientes. Para isso têm de ser elaborados testes fundamentais que complementam as normas internas da indústria e que visam o cumprimento de requisitos técnicos cada vez mais rigorosos.

3.2) MELHORIA CONTÍNUA

Periodicamente, é necessário rever as especificações, reavaliar as capacidades do processo e, quando necessário, fazer alterações intrínsecas ao mesmo.

Assim, a melhoria contínua passa pela redução de variabilidades, ou seja, pela implementação de um conjunto de práticas de melhoria sistemática do processo e diminuição ou mesmo eliminação de defeitos. Para isso, pode-se empregar o projeto seis sigma ^[11], mais propriamente o método DMAIC que possui cinco fases: Definir; Medir; Analisar; Melhorar (Improve em inglês) e Controlar.

I) Fase Definir

A primeira etapa é de conhecimento do processo e definição do problema, objetivos e metas a serem alcançados. Nesta fase devem ser esclarecidos os estudos que serão feitos e as melhorias que vão ser implementadas e de preferência alcançadas.

Nesta fase são utilizadas ferramentas como o Brainstorming; Diagrama Causa e Efeito; Fluxogramas.

II) Fase Medir

O passo seguinte será a medição de informação do processo para se localizar os (maiores) problemas inerentes ao mesmo, para isso tem que se recolher informação verídica e de uma forma estratificada, ou seja, é necessário que os acontecimentos sejam expressos em valores para que possam ser analisados devidamente.

III) Fase Analisar

A terceira etapa contempla a análise dos dados, onde são feitos estudos aprofundados para se encontrar possíveis relações entre variáveis e identificar-se as verdadeiras causas do problema em estudo.

Os dados recolhidos em todas as experiências feitas devem ser convertidos em informações que sustentem o plano de ações, ou seja, devem ser informações que concluam se as alterações são ou não necessárias. Assim, tem de existir, em paralelo, uma investigação e análise de possíveis melhorias e controlo alternativo a executar.

Entre as ferramentas que podem ser utilizadas nesta fase estão: Teste de Hipóteses; Correlações, Comparações múltiplas; Análises de Variâncias.

IV) Fase Melhorar

Nesta etapa conjectura-se um plano de ações, ou seja, propõe-se, avalia-se e implementa-se possíveis soluções para os problemas prioritários, tendo por base o trabalho executado na fase III) Analisar.

Assim, é nesta etapa que ocorrem as principais ações que geram mudanças no processo ou produto levando ao seu aperfeiçoamento. Apesar de algumas ações mais simples poderem ser tomadas ao longo da fase anterior.

Um bom plano de ação deve basear-se no cumprimento de prazos e na atribuição de responsabilidades para a realização da ação, descrição e justificação de cada ação a elaborar e se possível, os seus custos de implementação.

V) Fase Controlar

A última etapa prevê a difusão e padronização de procedimentos, de forma que eles sejam integrados nas rotinas operacionais, assegurando a manutenção dos ganhos obtidos na etapa anterior. Ou seja, é necessário arranjar meios para assegurar que os investimentos e melhorias não sejam perdidos pela falta de manutenção.

Aqui é muito importante a implementação do controlo estatístico do processo, onde podem ser utilizadas ferramentas como as cartas de controlo.

Mas para manter os ganhos obtidos pela ações implementadas e melhorias proposta, o mais importante não é a mudança de documentos e métodos mas sim a mudança no comportamento das pessoas. Assim, o projeto só deve ser considerado como finalizado quando todos os envolvidos estiverem cientes dos novos padrões de operação e capacitados para atuarem de acordo com ele, o que implica educação e formação.

3.3) MÉTODOS DE ANÁLISE

Aqui a estatística têm uma ação fundamental, já que compreende um conjunto de técnicas úteis de apoio à avaliação e posterior tomada de decisão sobre o processo, com base na análise de uma amostra da população em estudo. No âmbito do controlo da qualidade, esta desempenha um papel crucial pois permite planear, testar e avaliar de forma clara e objetiva as características de um determinado produto ou tarefa, assim como, monitorizar e otimizar todo o processo inerente [11,12].

Um dos pontos-chave para prevenir defeitos, melhorar a produtividade e minimizar/eliminar a variabilidade no processo é a deteção de fontes de variação e a sua posterior correção.

É uma lei da natureza que dois elementos nunca são exatamente iguais, porque os processos são influenciados por variações que afetam o resultado do produto. Estas diferenças entre os produtos podem ser enormes ou quase impercetíveis, mas estão sempre presentes. As variações podem ter origem em causas comuns ou especiais.

Causas comuns (ou aleatórias): Quando fazem parte da natureza do processo e seguem padrões normais de comportamento. São fontes de variação inerentes ao processo, que não podem ser evitadas e agem de forma constante. Estas causas referem-se a muitas fontes pequenas de variação dentro de um processo que se encontra sob controlo estatístico (processo estável).

São consideradas naturais ao processo porque a sua eliminação é impossível. Entretanto, é possível a redução do efeito destas causas, fazendo a substituição do processo existente por um processo diferente, mas são necessários investimento de capital.

Exemplos de causa comuns:

- Vibração normal de uma máquina em boas condições;
- Variação normal das características da matéria-prima;
- Folgas normais entre os componentes da máquina;
- Pequenas variações de temperatura e humidade;
- Pequenas flutuações na energia elétrica;
- Deterioração do desempenho dos equipamentos.

Causas especiais (ou esporádicas/ atribuíveis): São quaisquer fontes de variação que não podem ser explicadas adequadamente através de uma distribuição simples de resultados, como seria o caso se o processo estivesse sob controlo estatístico. São de certa forma imprevisíveis e geralmente acidentais. Quando são detetadas devem ser eliminadas rapidamente, para que não prejudiquem o desempenho do processo.

Exemplos de causas especiais:

- Falha nos equipamentos;
- Erro nas medições;
- Material fora de especificações;
- Queda da energia elétrica;

As causas especiais podem ser detetadas com técnicas estatísticas elementares, por outro lado, a descoberta das causas comuns de variação exige uma análise mais detalhada. Os tipos de ações a executar para as resolver também são distintos, já que para a correção de causas especiais são requeridas ações no local, enquanto que para corrigir as causas comuns já são necessárias ações no próprio sistema.

Para isto é necessário, primeiramente, existir uma análise detalhada do comportamento do processo, identificando a sua variabilidade e possíveis causas comuns de variação, responsáveis pelas instabilidades do processo em estudo.

3.3.1) Testes de Hipótese

A procura de respostas às questões colocadas acerca das características do processo e do produto, baseiam-se em testes de hipóteses suportados pelas distribuições dos dados de amostras retiradas diretamente do processo. Aqui são utilizados parâmetros como a média amostral, desvio-padrão amostral, mediana amostral, entre outros.

Para cada particularidade a testar definem-se duas hipóteses: a designada hipótese nula H_0 , que consiste em admitir que uma acção realizada à amostra não provocou alterações nas suas características e a hipótese alternativa (H_1), que consiste numa afirmação relativa às alterações que se espera que ocorram nas características da amostra aquando da acção. A aceitação destas hipóteses depende da aplicação de um teste estatístico adequado e do nível de significância adotado e consiste em rejeitar ou não a hipótese nula. Em função da rejeição da hipótese nula admite-se a hipótese alternativa, caso contrário, ou seja, a não rejeição da hipótese nula implica que não se possa tomar qualquer decisão acerca da hipótese alternativa.

A rejeição ou não-rejeição de uma hipótese está sujeita a uma probabilidade de ocorrência de erro (nível de significância) para cada situação. Geralmente, é considerado um intervalo de confiança de 95% (nível de significância de 0,05).

Assim, na aceitação ou rejeição da hipótese nula, podem ser cometidos dois tipos de erro:

- Erro do Tipo I (risco α): corresponde à probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira – mede a taxa de resultados falsos positivos.

Exemplo: Quando se considera erradamente o processo fora de controlo, intervindo no momento errado- falso alarme; Probabilidade de um lote de peças boas ser rejeitado.

- Erro do Tipo II (risco β): corresponde à probabilidade de não se rejeitar a hipótese nula quando ela é falsa – mede a taxa de resultados falsos negativos.

Exemplo: Quando se considera erradamente o processo sob controlo, não intervindo no momento certo- não deteção; Probabilidade de um consumidor adquirir um lote mau.

Em Gestão da Qualidade α é designado por Risco do Produtor e β por Risco do Consumidor e não é possível diminuir, simultaneamente os dois. Na verdade, se α diminui, β aumenta e vice-versa.

3.3.2) Comparar dois ou mais grupos independentes

Muitos dos testes executados para averiguar a influência de variáveis independentes sobre uma variável dependente do processo baseiam-se em análises de variâncias, que consiste na comparação de mais do que dois grupos no que diz respeito à sua localização, a partir da análise da dispersão presente no conjunto de dados.

Cada variável independente, também denominada por fator, é constituída por “ g ” níveis ou tratamentos.

- Teste paramétrico: One-way ANOVA ^[12,13]

Quando os níveis dos fatores são fixos à partida, a ANOVA diz-se de efeitos fixos. Por outro lado, se estes forem retirados aleatoriamente de entre um conjunto alargado de possibilidades, a ANOVA diz-se de efeitos aleatórios. Pode-se ainda considerar o caso de existirem fatores fixos e aleatórios em simultâneo e, portanto, nestes casos trata-se de uma ANOVA de efeitos mistos.

Quando se pretende estudar apenas uma fonte ou fator de variação (variável independente), a análise de variância designa-se *one-way ANOVA*.

Assim, no caso da análise de variância ser de um fator e efeitos fixos, as dimensões de cada grupo (efeito) g são representadas por $n_1, n_2, n_3, \dots, n_g$. As observações relativas ao i -ésimo grupo são denotadas por $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ onde $i = 1, 2, \dots, g$ e cada x_{ij} é uma observação de uma variável aleatória (v.a.) X_{ij} , ou seja:

$$X_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (6)$$

A variação total dos dados experimentais, SST , é obtida pela soma dos quadrados dos desvios de todas as observações em relação à média global, como descrito na Equação 7, onde X_{ij} representa o valor determinado para a variável X na réplica j do grupo i e n_i corresponde ao número de réplicas de cada experiência.

$$\underbrace{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2}_{SST} = \underbrace{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}_{SSE} + \underbrace{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}_{SSD} \quad (7)$$

Mais detalhadamente a variação total é composta pela variação entre níveis e dentro dos níveis:

Os quocientes entre as duas variações e o respetivo número de graus de liberdade representam as variâncias, designadas por desvios quadráticos médios ou quadrados médios:

$$MSE = \frac{SSE}{g-1} \quad (8)$$

$$MSD = \frac{SSD}{N-g} \quad (9)$$

As hipóteses do teste fundamental da ANOVA podem então ser especificadas do seguinte modo:

$$H_0 : m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_g \text{ (ou: } \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_g = 0) \quad (10)$$

$$H_1 : \text{os valores } m_i \text{ não são todos iguais (ou: algum } \alpha_i \text{ é diferente de zero).} \quad (11)$$

Para testar a hipótese nula recorre-se à estatística de teste, F , que é obtida pela razão entre MSE e MSD que segue uma distribuição de Fisher com $(g - 1)$ e $(N - g)$ graus de liberdade. Assim, caso o valor de F calculado (F_0) seja superior ao valor crítico $F \sim F(g - 1, N - g)$ tabelado, rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que existem diferenças significativas entre os níveis. A Tabela 2 sintetiza o estudo da análise de variância com um fator, onde $p - value = P(F \geq F_0)$.

Tabela 2- Esquematização de uma one-way ANOVA.

Fontes de Variação	SS	Graus de liberdade	MS	F_0	$p - value$
Entre níveis	SSE	$g - 1$	$SSE/(g - 1)$	MSE/MSD	(.)
Erro	SSD	$N - g$	$SSD/(N - g)$		
Total	SST	$N - 1$			

A análise de variância tem a sua aplicação restringida, pelo menos em teoria, aos casos em que sejam satisfeitos as seguintes três condições relativas a erros:

- Normalidade da distribuição dos grupos;
- A variância das g populações deve ser a mesma (*homogeneidade das variâncias*);
- Os g grupos de observações independentes devem ser independentes entre si (*independência mútua*).

A primeira das condições é a menos crítica para a realização de testes, a menos que as amostras sejam de pequenas dimensões. Por isto, é importante executar testes de qualidade que permitam verificar a Normalidade (Anexo VII).

A segunda condição de aplicabilidade da técnica de análise de variância retrata os erros associados às observações incluídas nos vários grupos. Mas na prática, a homogeneidade de variâncias só se torna importante quando as dimensões das amostras (grupos) forem muito diferentes, isto é, quando a maior amostra tiver uma dimensão pelo menos dupla da dimensão da menor amostra. Quando as amostras são fortemente desequilibradas, o efeito da heterogeneidade da variância, mesmo se acentuada, é pouco significativo.

Por fim, a violação da terceira condição pode causar muitos problemas na aplicação da técnica. Aqui é importante referir que quando os dados são recolhidos convenientemente num determinado momento, ou seja, ao longo de um intervalo de tempo curto, a independência das observações é fortemente assegurada. Se, pelo contrário, os dados são recolhidos a partir dos registos ou de medições repetidas no decurso de um intervalo de tempo significativo, há a possibilidade de ser introduzida uma dependência estatística entre cada erro e aqueles que o procedem e lhe sucedem, através de um qualquer fator associado ao grupo.

- Teste não-paramétrico: Teste de Kruskal-Wallis

Mas quando os dados a tratar contrariam fortemente a hipótese de normalidade ou da homogeneidade de variâncias tem que se recorrer a técnicas não paramétricas para executar os estudos de variância. São assim, testes de hipóteses que não requerem pressupostos sobre a distribuição subjacente aos dados e podem ser mais relevantes para determinadas situações práticas, baseando-se nas ordens das observações e não nos valores, podendo assim, ser utilizado em dados qualitativos.

Considerando também a existência de " g " grupos com " n " observações num total de N , tem-se para cada grupo a variável $Y_{ij} = M_i + \varepsilon_{ij}$ com $i = 1, 2, \dots, g$ e $j = 1, \dots, n_j$ onde ε_{ij} são variáveis aleatórias contínuas com a mesma distribuição e M_i a mediana do grupo i .

Para este tipo de teste apenas são exigidos os pressupostos:

- Ter g grupos de observações independentes (g amostras aleatórias) sendo os grupos independentes entre si;
- As observações são medidas numa escala pelo menos ordinal;
- Cada grupo de observações deve provir de uma população contínua;
- As populações apenas diferem na localização (*ranks*) (portanto têm a mesma forma).

O teste de *Kruskal-Wallis* é um dos mais utilizados nestes casos, destinando-se a verificar a possibilidade de existir diferenças nas localizações das populações. A diferença deste teste para o referido no ponto anterior é as hipóteses a testar não serem sobre as médias dos grupos, mas sobre as medianas (M_1) dos mesmos:

$$H_0: M_1 = M_2 = M_3 = \dots = M_g \text{ (as } g \text{ populações têm a mesma localização)} \quad (12)$$

$$H_1: \text{os valores } M_i \text{ não são todos iguais (pelo menos duas das } g \text{ populações não têm a mesma localização).} \quad (13)$$

O método consiste em, primeiramente, atribuir a cada valor observado, uma posição (*rank*), concedendo sempre a menor posição ao menor valor e a maior ao maior valor. Este ordenamento permite obter uma classificação global das observações. Assim, quando há observações repetidas, os denominados empates, é atribuído um *rank* médio às observações empatadas.

O ponto fulcral deste teste é que se H_0 for verdadeira os *ranks* correspondentes aos vários grupos estão misturados de forma aleatória, ou seja, as ordens altas e baixas distribuem-se de forma aproximadamente equivalente em cada grupo. Caso contrário, se existir predominância de

ranks altos ou baixos num grupo é provável que isso reflita diferenças significativas causadas pela variável independente. O valor das diferenças entre os totais das ordens é dado pela estatística de teste, designada por H . Este teste é unilateral à direita tendo uma distribuição Qui-Quadrado, assim rejeita-se H_0 quando o valor calculado de H for superior ao tabelado, ou seja, quando $H \geq \chi^2$ com $g - 1$ graus de liberdade.

Ambos os testes referidos acima são possíveis de executar em programas estatísticos como o SPSS, de uma forma simples e rápida.

É importante referir que a utilização de testes paramétricos deverá ser preferível em relação aos não paramétricos pois os primeiros são mais potentes, ou seja, têm uma probabilidade menor de cometer o erro de aceitar a hipótese nula sendo ela falsa (erro Tipo II) e ao contrário dos testes não paramétricos que são alicerçados em propriedades empíricas, todos os testes paramétricos são sistematizados como sendo simplesmente variações a um tema central.

3.3.2) Quantificar a associação entre duas variáveis: Correlação de *Pearson*

Outra maneira de investigar a forma como alguns parâmetros do processo influenciam outros é recorrendo a uma avaliação de possíveis correlações entre variáveis do processo. Isto é executado a partir do cálculo de um coeficiente de correlação que mede o grau pelo qual duas variáveis tendem a mudar juntas. No caso do coeficiente de *Pearson* este mede o grau de associação linear entre duas variáveis, podendo ser interpretado como a proporção da variação de uma variável y que é explicada pela variável x e vice-versa. Este coeficiente é normalmente representado por r , o procedimento de cálculo e respetiva análise encontram-se no Anexo VI.

3.4) MÉTODOS DE CONTROLO DO PROCESSO

Após estabilizar estatisticamente o processo, ou seja, após centrá-lo no alvo (nas especificações) devido à eliminação das causas comuns de variação, é necessário haver um controlo contínuo do processo. Isto é, existe a necessidade de haver um sinal estatístico quando há ocorrência de causas especiais de variação e, evitar falsos sinais estatísticos quando estas causas não estão presentes. Para isso são utilizados alguns métodos estatísticos específicos, como é o caso das Cartas de Controlo.

3.4.1) Cartas de Controlo

Existem muitos métodos estatísticos que agrupam os dados de períodos passados e são assim expressos de forma estática, como por exemplo os tão utilizados histogramas. Contudo é indispensável obter-se informações sobre o comportamento do processo em períodos específicos de tempo, de forma dinâmica e com projeções futuras. Para que qualquer mudança no material, trabalhador ou máquina sejam detetadas rapidamente e as ações corretivas sejam tomadas.

Para isto ser conseguido, foi desenvolvida a primeira teoria do controlo estatístico dinâmico nos anos 20 do século XX, pelo Dr. *Walter A. Shewhart*, onde se estabeleceu a distinção entre variação controlada e não controlada, devido às causas comuns e especiais, respetivamente.

Para isto, foi criado um instrumento simples, porém eficaz, para separar causas especiais de causas comuns – a Carta de Controle.

As cartas de controle são consideradas a prática mais sofisticada tecnicamente e têm sido utilizadas com sucesso em várias situações que envolvem controle de processo.

Esta ferramenta consiste na apresentação gráfica dos dados do processo, permitindo uma avaliação visual da variabilidade e da estabilidade do mesmo, chamando a atenção para as causas especiais de variação quando surgem e refletem a magnitude das causas comuns de variação que devem, necessariamente, ser reduzidas pela gerência do processo.

As cartas de controle têm assim três funções básicas:

- Mostrar se o processo está a operar sob controle estatístico (sem causas especiais de variação) ou assinalar a presença de causas especiais de variação para as devidas ações corretivas/ preventivas;
- Manter o estado de Controle Estatístico mediante o uso dos limites de controle do processo como base para ações imediatas (eliminação das causas especiais);
- Melhorar o desempenho do processo através da redução de variações devido às causas comuns, ou seja, melhorar a capacidade do processo que é melhorar a capacidade de produzir dentro dos limites de especificação.

Assim, o objetivo final é mesmo o aperfeiçoamento do processo através da redução da influência das causas comuns (circuito de cadeia fechada).

As cartas de controle tradicionais ou de *Shewhart* baseiam-se no princípio de que as observações, em momentos distintos, são independentes e normalmente distribuídas.

Uma carta de controle tradicional é apresentada na Figura 9. Esta representa os valores do parâmetro de uma característica da qualidade (eixo das ordenadas), obtidos ao longo do processo, em função do tempo ou do número de observações (eixo das abcissas). A carta de controle possui uma linha central que corresponde ao valor esperado do processo, ou seja, representa o valor médio do parâmetro em estudo e ainda linhas superiores e inferiores que representam, respetivamente, o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), que são determinados estatisticamente a partir de dados históricos^[1].

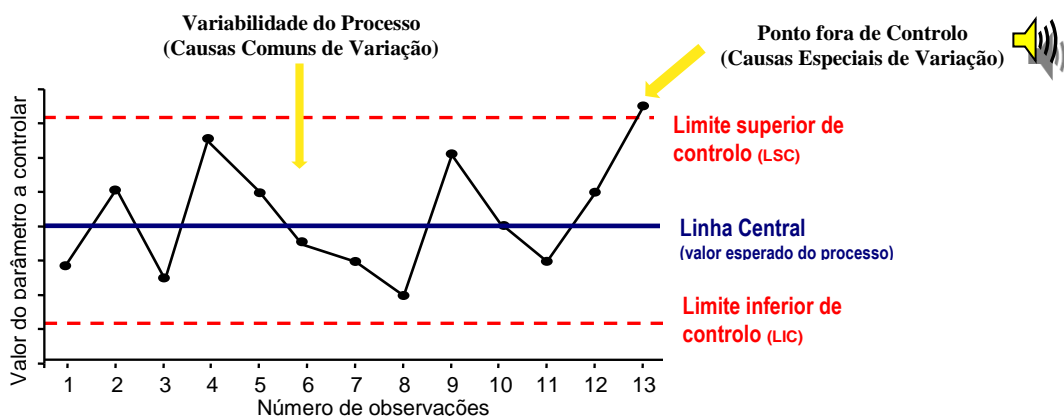


Figura 9- Representação de uma carta de controle de Shewhart tradicional.

Os limites de controlo definem a variabilidade esperada de uma série de observações. Para uma carta de controlo tradicional, estes são dados por 3 desvios padrão (3σ) do valor médio do parâmetro em estudo, o que corresponde a 99,73% de variação natural da característica da qualidade. Estes limites são definidos de modo a compreender todos os valores das observações e quando esta condição se verifica assume-se que o processo está sob controlo estatístico. Por outro lado, se os pontos representados nas cartas apresentam um comportamento não aleatório ou sistemático também são um forte indício de causa especial. Por exemplo, os padrões que aparecem na Figura 10, podem ser interpretados da forma seguinte:

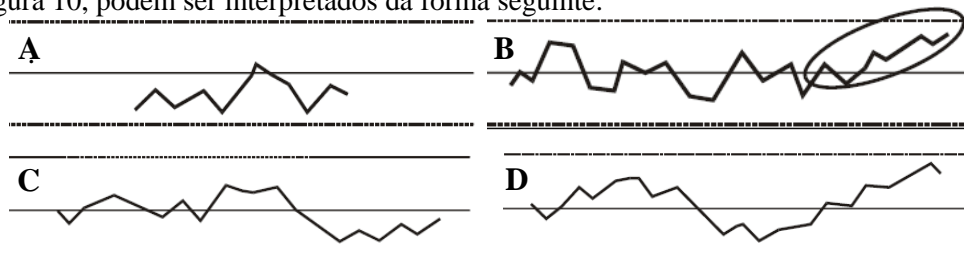


Figura 10- Representações de comportamentos sistemáticos das observações nas cartas de controlo: (A) 7 ou mais pontos abaixo ou acima da linha central; (B) Tendência crescente ou decrescente de 7 ou mais pontos; (C) Deslocação da média/ Saltos de nível; (D) Periodicidade de pontos/ Ciclos.

Caso (A): Existiu algum ajuste na máquina; utilizou-se um material diferente ou método diferente; ocorreu avaria na máquina ou houve muita variação na matéria-prima.

Caso (B): A ferramenta/ máquina está a acusar algum desgaste; variância de alguma condição de trabalho.

Caso (C) / Caso (D): Está a ser utilizado um método, máquina ou lote de matéria-prima diferente; existiu alguma ação de melhoria.

Finalmente, é importante referir que o procedimento habitual para a construção de uma carta de controlo é um processo composto por duas etapas.

Na primeira etapa, as cartas de controlo são utilizadas para analisar na íntegra o processo e retirar o máximo de informação possível sobre as suas características, o que corresponde a um controlo retrospectivo. O principal objetivo desta fase é estabilizar o processo. ^[12] Nesta fase também se estimam os parâmetros do processo com base em dados históricos e calculam-se os limites de controlo, tendo em consideração apenas as causas comuns de variação, ou seja, tendo em conta que o processo está no estado “de controlo”. Com isto, é fundamental definir o número de observações necessárias, apesar de não existirem regras gerais. A ISO 7870-2:2013 aconselha que a dimensão e o número de amostras deve ser selecionado de modo a equilibrar a capacidade na deteção de pequenas alterações ao processo e o risco de não se detetarem causas especiais de variação. Assim, é recomendável recolher 20-25 amostras de dimensão 4 ou 5, perfazendo no mínimo um total de 100 observações individuais.

A segunda fase apenas existe uma monitorização constante do processo e também uma re-estimação dos limites de controlo quando o processo sofre alguma alteração externa.

Existem diversos tipos de cartas de controlo, das mais genéricas às utilizadas em casos mais partícules e especiais. O modelo estabelecido por *Shewart* utiliza a média aritmética dos valores resultantes das medições de uma amostra, como medida de posição do processo.

Existem dois tipos básicos de cartas de controlo de qualidade: as cartas baseadas em variáveis e as cartas baseadas em atributos. As cartas por atributos referem-se a situações que podem ser traduzidas por um sistema binário do tipo “0” ou “1”, em que cada amostra inspecionada é testada para determinar se está ou não conforme com os requisitos. Ou seja, o que é representado no gráfico é o resultado da contagem do número de itens do produto que apresentam uma característica particular de interesse (atributo).

O controlo de variáveis são aqueles que se baseiam em medidas das características de qualidade, como, por exemplo, dimensões, humidade, densidade, velocidade, tempo,... e quando é possível expressá-las numericamente numa escala contínua.

O controlo da média do processo é usualmente feito através do gráfico de controlo para médias, denominado *gráfico X*, que monitoriza a variabilidade entre amostras.

Para estudar a variabilidade dentro das amostras pode-se utilizar tanto o gráfico de controlo para o desvio padrão, chamado *gráfico S* como o gráfico de amplitude, chamado *gráfico R*. A diferença básica entre estes é que o primeiro se aplica a casos onde o número de amostras é moderadamente grande.

Na Tabela 3 encontram-se algumas utilizações destas cartas e ainda vantagens e desvantagens. Também nela estão apresentadas as fórmulas de cálculo para os respetivos limites de controlo, que se baseiam nas equações gerais 14-16.

$$LSC = \mu_x + 3 \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (14)$$

$$LC = \mu_x \quad (15)$$

$$LIC = \mu_x - 3 \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (16)$$

Tabela 3- Tabela síntese das cartas de controlo de Shewart mais utilizadas.

Parâmetros	Uso típico	Vantagens	Desvantagens	Fórmulas*	
Variável					
Média e amplitude ou desvio-padrão da amostra	Processo onde predomina o uso de máquina	Uma ótima visão da variação estatística do processo	Cálculos complexos, resposta demorada, relação indireta entre limites de controle e tolerância	Carta de médias (e amplitudes): $LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{A}$ $LC = \bar{\bar{x}}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{A}$ Carta de médias (e desvio-padrão): $LSC = \bar{\bar{x}} + A_3 \cdot \bar{s}$ $LC = \bar{\bar{x}}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_3 \cdot \bar{s}$	Carta de amplitudes: $LSC = D_4 \cdot \bar{A}$ $LC = \bar{A}$ $LIC = D_3 \cdot \bar{A}$ Carta de desvio-padrão: $LSC = B_4 \cdot \bar{s}$ $LC = \bar{s}$ $LIC = B_3 \cdot \bar{s}$
Medida individual e amplitude da amostra	Onde apenas uma observação por lote é disponível	Mais rápidos, mais fáceis de serem completados e explicados. Comparáveis diretamente com a tolerância.	Não são tão sensíveis quanto o das médias e amplitudes das amostras.	Carta de valores individuais (e amplitude móvel): $LSC = \bar{x} + 3 \cdot \bar{A}/d_2$ $LC = \bar{x}$ $LIC = \bar{x} - 3 \cdot \bar{A}/d_2$	Carta de amplitudes: $LSC = D_4 \cdot \bar{A}$ $LC = \bar{A}$ $LIC = D_3 \cdot \bar{A}$

*Quando os parâmetros do processo não são conhecidos, a média ($\bar{\bar{x}}$) é estimada a partir da média das observações (\bar{x}) e o desvio padrão ($\sigma_{\bar{x}}$) é estimado a partir da relação $\frac{\bar{A}}{d_2}$, onde \bar{A} é a amplitude da amostra em questão. As constantes referidas $-A_2, A_3, B_3, B_4, D_3, D_4$ e d_2 – encontram-se tabeladas e dependem da dimensão da amostra, n , que é utilizada para os cálculos [12].

As cartas de controlo são uma simples e eficiente ferramenta para alcançar o estado de controlo estatístico. Estas devem ser utilizadas no local de trabalho pelo próprio operador, fornecendo ao pessoal envolvido na operação, informação confiável de quando devem agir no processo.

3.4.2) Capacidade e Centragem do Processo

Ao montar-se um controlo de qualidade tem que se definir um outro tipo de limite: os limites de especificação, que são os limites de engenharia, popularmente chamado de “voz do cliente”. Este tipo de limite opõe-se aos limites de controlo anteriormente falados, que são os limites do equipamento, a gama em que o equipamento opera sem causas especiais, popularmente chamado de “voz do processo”.

Os limites permitem então análises distintas, já que numa carta de médias, a média de uma amostra (\bar{X}_i) pode cair dentro dos limites de controlo e simultaneamente algumas das observações individuais estarem fora dos limites das especificações, como se pode observar na Figura 11.

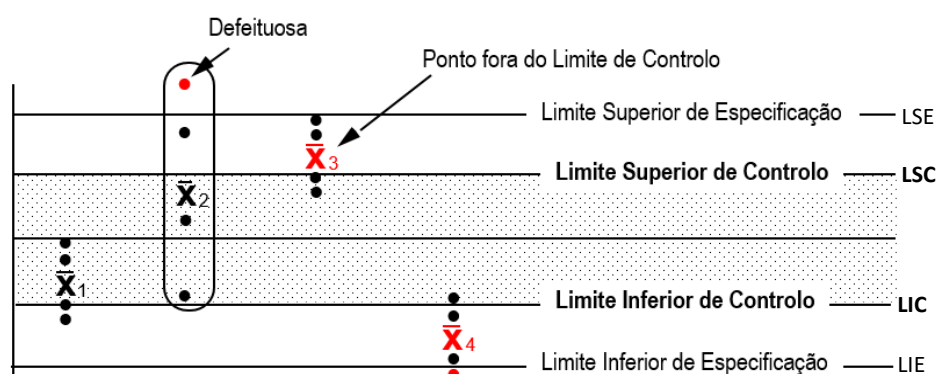


Figura 11- Representação de vários exemplos possíveis de controlo: (1) Processo sob controlo e não produção de peças defeituosas; (2) Processo sob controlo e produção de peças defeituosas; (3) Processo fora de controlo e não produção de peças defeituosas; (4) Processo fora de controlo e produção de peças defeituosas.

Finalmente, depois da estabilização de um processo, o estudo da sua capacidade é fundamental. Este estudo desempenha um papel essencial no *SPC*, uma vez que permite compreender se o processo produz de acordo com as especificações estabelecidas, possibilitando a melhoria contínua da qualidade e da produtividade. A capacidade do processo está relacionada com a gama de valores entre os quais varia o seu *output*, quando o processo em causa se encontra apenas sob influência de causas comuns e quando a variável em estudo tem uma distribuição aproximadamente normal.

Então através dos índices de capacidade, Equação 17, é possível relacionar o desempenho atual do processo e os limites de especificação, ou seja, comparar a variabilidade atual do processo (6σ) com a variabilidade pretendida ($LSE - LIE$).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sigma} \quad (17)$$

Onde LSE e LIE são, respetivamente, o limite superior e o limite inferior de especificação. Contudo, este índice apenas avalia o potencial do processo, não tem em consideração a eventual “descentragem” do mesmo. Ou seja, o índice C_p pode assumir valores elevados e, ainda assim, o processo encontrar-se a produzir uma grande quantidade de produtos defeituosos. Assim, de modo a avaliar se o processo está centrado ou não recorre-se aos índices C_{pk} , que calcula a distância entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo, Equação 18.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\bar{x} - LIE}{3 \cdot \sigma}, \frac{LSE - \bar{x}}{3 \cdot \sigma} \right\} \quad (18)$$

Quando o processo está descentrado o índice C_{pk} é menor que o índice C_p , mas quando ele está centrado os valores dos índices igualam-se. Assim, C_{pk} que mede a capacidade real do processo tem de ser sempre maior ou igual ao C_p , que mede a máxima capacidade do processo quando ele está centrado. A capacidade do processo é avaliada pelos valores obtidos do índice C_{pk} , como é observado na Tabela 4.

Tabela 4- Classificação da capacidade do processo em relação aos valores obtidos do índice C_{pk} .

Classificação	Valores C_{pk}
Capaz	$\geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1 \leq C_{pk} < 1,33$
Incapaz	< 1

Assim, tem de existir uma avaliação conjunta da capacidade e do controlo em que o processo está a funcionar. As várias hipóteses existentes estão demonstradas na Figura 12.

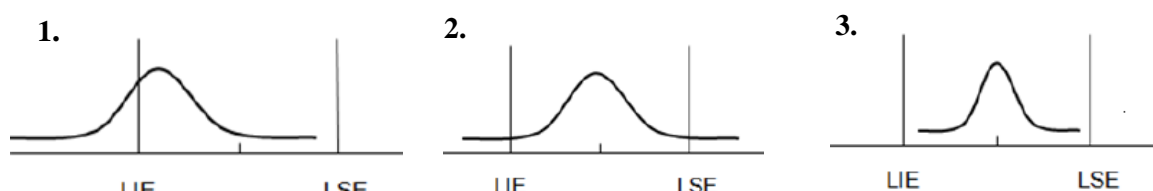


Figura 12- Capacidade e centragem dos processos: (1) Processo não capaz e descentralizado; (2) Processo não capaz e centralizado e (3) Processo capaz e centralizado.

Se ocorrer um caso do tipo 1 deve-se proceder ao ajuste das máquinas, já no caso tipo 2 deve-se fazer alterações intrínsecas ao processo, como uma troca de fornecedor para produtos de melhor qualidade; investigação de novos parâmetros do processo; programas de treinamento ou revisão de procedimentos; aumento da largura dos limites ou mesmo alteração do processo utilizando novas tecnologias. Por outro lado, quando ocorre o caso tipo 3 nada tem de ser feito já que o processo está no melhor nível de capacidade e centragem.

Assim, a análise dos índices de capacidade permite rastrear e melhorar os processos desajustados, a fim de satisfazer as necessidades e os requisitos dos clientes ^[12].

No fundo os índices da capacidade vão ser importantes indicadores na melhoria contínua do processo.

4)IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase I e fase II

4.1) FASE I: DEFINIR

A primeira etapa é a definição do problema, para isso é necessário conhecer detalhadamente todo o processo produtivo, as operações executadas e os métodos e ferramentas utilizadas. Para isso, efetuou-se uma observação *in-line* aos vários setores, possibilitando delimitar objetivos e metas com vista a melhoria contínua.

4.1.1) O processo

Um processo consiste na geração de valor a partir das matérias-primas e ao longo dos vários setores, com funções diferentes mas com o mesmo objetivo: formulação de um produto de qualidade e com as características pretendidas pelo cliente interno (setores seguintes) ou pelo externo (consumidor do produto final). Na Figura 13, apresenta-se de forma simplificada o processo de produção de rolhas de champanhe.



Figura 13- Diagrama simplificado das etapas da produção de rolhas de champanhe e a quantidade de produção por minuto e por máquina.

As matérias-primas são o granulado de cortiça com partículas de dimensão entre 3 mm a 7 mm e discos de cortiça natural, provenientes de outras unidades do grupo Amorim.

Primeiramente, o granulado é misturado com a água, cola e óleos e passam por um processo de moldação, que tem por base a reação de reticulação da cola ao longo da passagem por forno quentes e frios, produzindo corpos aglomerados de cortiça.

Após o processo de moldação e um tempo de estabilização os corpos passam por máquinas de corte (topejadeiras) para ficarem com o comprimento desejado para ser feita a colagem do(s) disco(s) numa das extremidades. A montagem das rolhas é feita mecanicamente onde os discos e os corpos aglomerados são introduzidos através de silos. Pelo caminho, os discos passam por um equipamento de seleção com recurso a câmaras para determinar o lado superior do disco que entrará em contacto com o vinho. O outro lado (que possui uma marcação detetável

por um sensor) é colado ao corpo da rolha. Depois de montada, a rolha é sujeita à secagem num forno durante uma hora antes de ser estabilizada (pelo menos 12h) para posteriormente passar à retificação, onde passam por outras máquinas de corte constituídas por lixas e mós e de onde saem com o calibre (diâmetro, comprimento e chanfro) pretendido.

Depois de finalizada, a rolha de champanhe é submetida à pesagem e escolha ótica para separar as rolhas mais ou menos pesadas, classificar quanto às classes visuais e extrair defeitos inerentes à qualidade da própria cortiça. Tudo isto é feito de maneira eletrónica com balanças e máquinas de escolha apropriadas.

Seguem-se os processos de marcação a fogo ou a laser (técnica de marcação recente nesta unidade) e tratamento superficial que tem como objetivo o fácil deslize da rolha no gargalo da garrafa aquando da sua inserção e extração- este tratamento pode ser à base de parafina ou silicone.

Depois de todo este processo é executado um controlo de qualidade ao produto final durante o seu período de estabilização (12h). Se todas as características analisadas estiverem dentro das especificações estipuladas, a encomenda segue para a embalagem e posterior expedição até ao cliente.

4.1.2) Caso de estudo: Moldação

Na fase de conhecimento do processo notou-se que o setor da Moldação era um dos mais importantes e interessantes em toda a fábrica já que é aí que acontece a formulação do corpo de sustento do produto e é onde as maiores variabilidades podem ter origem. Posto isto, foi estudado com mais pormenor o funcionamento deste setor.

A moldação começa com a execução de misturas com receitas pré-definidas, nas misturadoras. Em primeiro lugar é introduzido o granulado de cortiça, por doseamento volumétrico. De seguida, deveria existir uma verificação da humidade do mesmo para se poder executar o ajuste da quantidade de água a adicionar à mistura. Sabe-se que o valor ótimo de humidade do granulado (HR) seria aproximadamente 8,5% (m/m) e abaixo deste deveria existir adição de água de acordo com a Equação 19, alterando o valor de HR , nas consolas das máquinas, consoante os valores de humidade do granulado que vai ser utilizado.

$$Qt_{\text{água}} (mL) = 1704,3 - 196,19 \cdot HR(\%) \quad (19)$$

Hoje em dia, esta quantidade de água ($Qt_{\text{água}}$) é ajustada, alterando o valor de HR , a partir da avaliação da humidade dos corpos aglomerados já produzidos (controlo corretivo).

Segue-se a adição de cola *BIOCOL BS* (aglomerante de poliuretano), óleo parafínico e desmoldante (monopropilenoglicol: 1,2-propanodiol), inseridos por quantidades mássicas.

A cola é um pré-polímero de poliuretano (PU) resultante da reação entre poliois e diisocianato de tolueno (TDI). Apresenta-se como um líquido viscoso ligeiramente amarelado, sem

materiais em suspensão e com um baixo teor em TDI livre. Este teor deverá ser alto o suficiente para garantir que a cola não polimerize durante a mistura, mas sim nos moldes.

Por definição o monopropileno é utilizado para melhorar a dispersão dos componentes da mistura (ligação dos componentes água à cola) e o crescimento das partículas. Para além de conferir elasticidade aos corpos e melhorar os valores de torção e elasticidade da rolha, mas sem reagir com o pré-polímero.

As quantidades das misturas são controladas por sensores de nível, que avalia se o silo tem a quantidade de mistura suficiente.

De seguida a mistura passa para uma câmara que contém um sistema de agitação de modo a promover uma boa mistura dos componentes alimentados, daqui o aglomerado cai por vibração para 20 moldes presentes em cada tabuleiro, por sua vez estes tabuleiros movimentam-se ao longo da máquina. A mistura dentro dos moldes é comprimida por pistões e a força exercida por eles depende da quantidade de mistura presente em cada molde.

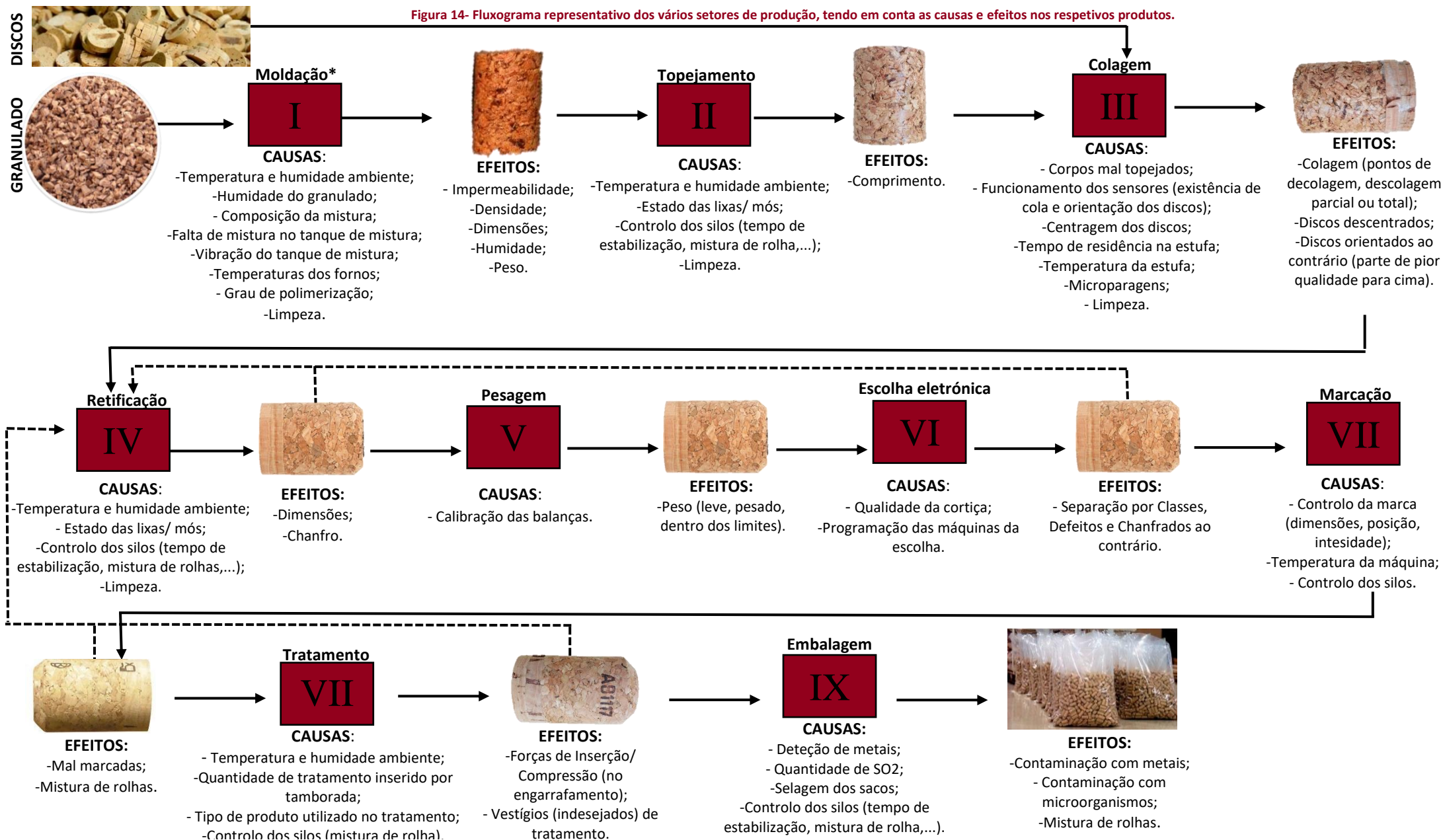
Posteriormente, os tabuleiros dirigem-se a um forno quente (120°C) onde se dá a reação de polimerização, catalisada pelo calor, e consequente expansão dos corpos, que é travada pela passagem num forno frio (40°C). Para estes processos acontecerem devidamente há um controlo das respetivas temperaturas: A partir dos valores de temperatura dos tabuleiros lida já no exterior dos fornos (medida por um sensor a uma distância de 100 tabuleiros do forno frio, aproximadamente 3 metros) é controlada a ventilação do forno frio, ou seja, se a temperatura passar do limite ($50 \pm 1^\circ\text{C}$) a frequência da ventilação também altera $\pm 1\text{Hz}$.

A alimentação do granulado é executada a partir de quatro silos exteriores, que são cheios diariamente na zona da receção da matéria-prima. Por sua vez dois silos já no interior do setor da moldação são cheios com granulado proveniente de um dos silos exteriores, ao longo da produção isto é executado de uma maneira alternada entre os quatro silos. Os dois silos na moldação vão alimentar dois *rotex*'s que vão “despoirar” o granulado antes de serem alimentados às moldadoras 1,2 e 3 (pelo *rotex* 1) e às moldadoras 4,5 e 6 (pelo *rotex* 2).

4.1.3) Causas e efeitos: Características da qualidade

Ao longo do processo, nos vários setores, as ações executadas têm de acontecer em certas condições (causas) para que as respetivas saídas (sub-produtos) possuam as características requeridas - Parâmetros da qualidade (efeitos). Mas o contrário também acontece, ou seja, existem fenómenos que vão levar a resultados não pretendidos e até prejudiciais- Não-Conformidades (efeitos).

Para definir os problemas existentes e determinar a melhor forma de os controlar ou eliminar foi necessário fazer um levantamento das causas e efeitos que ocorrem em cada setor e que contribuem para a qualidade/ conformidade de cada sub-produto (fluxograma da Figura 14).



*Setor explicado com mais pormenor na página 28

Com a síntese de condições e parâmetros de todo o processo efetuada na Figura 14 é mais fácil observar as possíveis relações causas-efeitos para posterior avaliação e controlo.

É importante referir que existem momentos em que corpos ou rolhas têm que ser segregados do processo porque não estão em conformidade com as especificações existentes. Mas apesar de quantidades elevadas serem segregadas de uma operação, esta mesma quantidade pode entrar novamente no processo em operações anteriores (representados pelos traços descontínuos) ou ser utilizada como lenha para a caldeira para a produção de energia. Assim, o desperdício de matéria é quase nulo.

4.2) FASE II: MEDIR

4.2.1) Medições efetuadas na linha de produção para avaliação de características e condições.

Após o levantamento das causas e efeitos de cada setor é importante conhecer as variáveis avaliadas e os métodos e ferramentas utilizadas para esse fim.

Na Tabela 5 encontra-se sumariada a situação atual do sistema de controlo: medição de parâmetros do processo e características de produtos ou subprodutos.

Estas informações foram obtidas a partir de instruções e normas de controlo internas, complementadas com um período de observação no terreno.

Tabela 5- Controle do Processo: Como e quando as propriedades da qualidade são testadas ao longo de todos os setores

OPERAÇÃO	CARACTERISTICA AVALIADA		TOLERÂNCIAS	FREQUÊNCIA	MÉTODO	RESPONSÁVEL	
	Moldação		Humidade do granulado	7-8%	4h em 4h	Higrómetro com Godé	Operador
			Humidade dos corpos	7,0-8,5%	- 1 vez por turno; - 1h depois de mudar a adição de água na consola.	Medcork	Encarregado de setor
			Densidade dos corpos	250-310 kg/m3			
			Dimensões dos corpos	Máquina 1-5: 42×34,5 mm Máquina 6:49×34,5 mm			
			Peso dos corpos	-			
			Impermeabilidade ao gás		Não podem existir fugas de gás pelo corpo aglomerado.	2 vezes por turno	Máquina da impermeabilidade
	Peso (10 corpos)		Máquina 1-3: 103-110g Máquina1-3:103-108 g Máquina 6: 110-116 g.	2h-2h	Balança	Operador	
	Quantidades adicionadas à mistura (calibração)	Massa de óleos e cola	Verificação com uma massa de 5 kg.	1 vez por semana	Na própria máquina de moldação	Sub-Encarregado de secção	
		Caudal de água	Mede-se o volume de água proveniente da máquina com 6,5% de humidade na consola.	1 vez por mês	Copo volumétrico	Sub-Encarregado de secção	
	Topejamento		Comprimento	39,5 mm 45,0 mm	2 vezes por turno	Paquímetro	Operador
	Colagem		Sensor de cola	Paragem da máquina quando não existe cola na tubagem	1 vez por turno	Chapa metálica nos sensores	Encarregado de setor
			Centragem dos discos	Verificação da centragem dos discos em relação ao corpo aglomerado	1 vez por turno	Visual	Encarregado de setor
			Existência de cola	Em toda a superfície do disco	1 vez por turno	Visual	Encarregado de setor
			(Células) Orientação dos discos	1/100 discos com a marcação para cima	1 vez por turno	Visual	Encarregado de setor
			Sensores de extração	Paragem da máquina quando uma rolha fica retida na prensa e não sai da máquina.	1 vez por semana	Máquina de colar	Encarregado de setor
			Alimentação de corpos não topejados	Não passagem do corpo calibrado, aquando do teste nas próprias máquinas.	1 vez por semana	Corpo calibrado (Comprimento > 41,5 mm)	Encarregado de setor
	Temperatura		Temperatura de segurança -Temperatura de controlo < 5°C a máquina deve ser parada		1 vez por dia	Visual (medidas por sensores na máquina)	Sub-Encarregado de setor
	Retificação		Diâmetro Comprimento Chanfro	D:±0,20 mm C:±0,30 mm Ch.: ±0,50 mm	-2 vez por turno - Mudança das lixas	Paquímetro Comparador	Operador

OPERAÇÃO	Pesagem	Peso de cada unidade		$\pm 1\text{ g}$	Toda a produção	Balanças programadas na produção	-
		Testes de calibração	Rolha leve e rolha pesada	Peso medido nas balanças da linha de produção deverá ser a mesmo ao medido em balança calibrada.	1 vez por mês	Balança equilibrada Rolhas retiradas da produção	Operador
			Margem de rejeição	Rejeitar as rolhas de controlo quando se fazem passar as mesmas pelas balanças.	1 vez dia	Rolhas de controlo Balanças da linha de produção	Operador
			Peso	Valor medido = Valor padrão $\pm 0,2\text{g}$	1 vez por mês	Massas padrão de 100g e 50g Balanças da linha de produção	Responsável
	Escolha Eletrónica	Classes e Defeitos		Razoabilidade idêntica das amostras da produção em comparação com as amostras padrão	1 vez por dia	Visual Amostras retiradas das máquinas de escolha Amostras padrão	Encarregados e Engenheiros
	Marcação	Posição e centragem da marca		Igual ao que está no pedido de encomenda	- Início de cada encomenda - Início de cada turno	Visual Paquímetro	Afinador/ Operador
		Posição, largura e quantidade da banda de Parafina		<5mg/rolha (pouca) 5-15 mg/rolha (ideal) >15 mg/rolha (muita)	- Início de cada encomenda - Início de cada turno	Visual Paquímetro	Afinador/ Operador
	Tratamento de superfície	Quantidade de tratamento		$100\text{g} \pm 10\text{ g}$	Início de cada turno	Balança calibrada e tareada Programa de ensaio (100g)	Operador
		Compressão e Inserção		(Anexo I)	A cada tamborada	CitCork	Operador
	Embalagem	Contagem das rolhas		Contar $1000 \pm 2\text{ rolhas}$	1 vez por semana	Máquina de contar e padrão (1000 rolhas)	Operador
		Doseador de SO2 e Solda		$1,4\text{g} \leq \text{SO}_2 \leq 2,6$	Início de cada turno	Balança calibrada e tareada	Operador
		Deteção de metais		Não pode haver metais (Retirar as rolhas contaminadas)	A todas as rolhas que são embaladas	Máquina de contar e detetar metais	Operador
		Calibração do detetor		Detetar corpos com metal	Início de cada turno 1 vez por semana	Padrões ferrosos, não ferrosos e inox	Operador/ Analista

No Anexo I é apresentada uma pequena descrição dos métodos/ ferramentas utilizados no controlo do processo, sendo possível analisar a sua precisão e compará-los.

De seguida, tendo em conta a definição efetuada das causas e efeitos (Figura 14) em cada setor, foi executada uma pequena auditoria interna, para avaliar os métodos de análise e controlo do processo, a partir do que ocorre diariamente na linha de produção, sintetizado no Anexo II na Tabela 20.

Nesta auditoria avaliou-se o controlo tendo em vista o melhor funcionamento do processo e a melhoria contínua, verificando a coerência/ apropriação do método utilizado; a precisão, assiduidade e duração do processo de medição e ainda a (possível) existência de análise dos valores recolhidos.

Com tudo isto, conclui-se que apesar de existirem diversas fases de controlo ao longo de todo o processo e maior parte das vezes serem executadas devidamente, o maior problema é a ineficiente supervisão do controlo. Com isto, apesar de existir recolha da informação esta por vezes não corresponde à realidade, ou a maneira como é recolhida não é igual em todas as linhas em setores correspondentes, ou seja, os ensaios não são standardizados.

E como muitas vezes não existe qualquer tratamento (estatístico) dos dados recolhidos não existe deteção de possíveis problemas já que à partida eles não existem. Isto é oposto ao que é pretendido pelo conceito de melhoria contínua e deve ser corrigido.

Também se conclui que alguns métodos de controlo utilizados estão um pouco desatualizados, que juntamente com o desgaste que as máquinas possuem leva à existência de variabilidade em várias características do produto. Finalmente, um outro problema observado é que o controlo efetuado é corretivo e não preventivo como seria suposto, além de ser ainda efetuado maioritariamente de forma manual. Ou seja, o controlo é elaborado após o operador observar/ medir as características do produto de saída. Havendo de seguida uma correção manual ao processo, se necessário.

Assim, ao acontecer isto, é sinal de que existe produção de não-conformidades, havendo assim algum tipo de desperdício. Pelo contrário, se o controlo fosse preventivo, o próprio processo daria informações para o seu ajuste, havendo um sistema de antecipação (*feedforward*), passando a existir uma ação no processo e não no resultado.

Após estas primeiras observações é necessário analisar as condições que são mais importantes de controlar e que têm maior influência na qualidade do produto final. Para isso foram executados alguns testes e foi analisado o comportamento do processo e produto, para determinar onde é essencial atuar primeiro e o tipo de atuação que é necessária. Isto é desenvolvido de seguida, na Fase III.

5)IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase III

5.1) FASE III: ANALISAR

Na terceira etapa executa-se uma análise ao funcionamento do processo, ou seja, de como este se comporta ao longo dos setores e do tempo e como é executado o seu controlo. Para isso, foram elaborados alguns estudos aprofundados para se descobrir possíveis relações entre variáveis do processo e produto, identificando as verdadeiras causas do problema e concluir-se onde atuar e como atuar.

5.1.1) Identificação dos setores e parâmetros críticos para a qualidade^[16]

Para determinar os pontos críticos de controlo da unidade industrial deve-se utilizar um método consistente e sob o ponto de vista do cliente.

Após ter sido feito a análise ao processo e terem sido recolhidas as características e variáveis possíveis de medir e controlar e quais os processos/ setores nos quais essas variáveis são construídas estabelece-se relações entre a qualidade requerida pelo cliente e os processos responsáveis pelo atendimento desse requisito.

Para isso, utiliza-se o *QFD - Quality Function Deployment* ou desdobramento da função da qualidade como um caminho sistemático para a avaliação das metodologias de controlo do processo, tudo isto com a orientação da necessidade do consumidor.

O estudo do *QFD* permite priorizar e planejar ações, implementando-se um conjunto de matrizes nas quais são estabelecidas as relações entre características de qualidade requeridas pelo cliente e características de qualidade do produto/processo. Essas relações permitem determinar os elementos do produto e do processo mais importantes para a qualidade do produto final.

Conforme referido, o *QFD* tem como base a necessidade do cliente, por isso o primeiro passo será o levantamento dos requisitos em relação às características que o produto final (rolha de champanhe) deve ter: funcionalidade/ desempenho; facilidade na aplicação do produto e que as características de projeto abranjam todas as peças produzidas, estipuladas pelas normas da indústria, como por exemplo, a estabilidade estrutural, inocuidade e aparência.

De seguida, tem de existir a avaliação destes requisitos com o objetivo de priorizar os mais importantes, esta estimativa é designada por grau de importância, GI_r , onde r representa os requisitos. Esta avaliação é baseada nos requisitos impostos pelos clientes (engarrafadores) e no parecer dos responsáveis perante os requisitos imprescindíveis para os desenvolvimentos futuros da unidade industrial.

Na sequência, listam-se as características de qualidade potencialmente relacionadas com os itens recolhidos anteriormente, estas têm de ser aspetos mensuráveis do processo. Assim, são estabelecidos relacionamentos entre a qualidade requerida pelos clientes e as características de qualidade, originando o índice de intensidade dos relacionamentos, R_{rc} , onde c denota a característica de qualidade.

As escalas utilizadas para ambas as avaliações são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Escalas de avaliação de importâncias e relacionamentos utilizadas na elaboração do QFD

Grau de importância, GI		Intensidade dos relacionamentos, R	
1	Nenhuma Importância	9	Elevada
2	Pouca Importância	3	Moderada
3	Alguma Importância	1	Baixa
4	Importante	0	Nenhuma
5	Muito Importante		

As características da qualidade consideradas abrangem tanto aspetos dimensionais, físico-mecânicos ou químico mas também os visuais e sensoriais, tão particulares deste ramo industrial. Estas podem ser observadas na tabela síntese presente no Anexo II.

Finalmente, calcula-se a priorização das características de qualidade a partir do índice de importância sobre a qualidade, Equação 20, onde uma característica da qualidade é considerada prioritária se atender a vários requisitos; atender a requisitos com valores de GI elevados e/ ou mantiver relações fortes com os requisitos.

$$IQ_c = \sum_{c=1}^n GI_r \times R_{rc} \quad (20)$$

Para desdobrar os processos, executa-se a associação das características de qualidade, referidas na fase anterior, com os parâmetros do processo ou características do produto (ou subprodutos) avaliadas durante o processo. Para este passo é essencial conhecer muito bem o processo, para isso este foi descrito com algum detalhe anteriormente.

A avaliação do impacto (importância) de cada parâmetro do processo sobre a qualidade requerida pelo cliente é realizada levando-se em conta as relações estabelecidas no interior da matriz, R_{kj} e o índice de importância, IQ_c . Para isso, foi definido um índice de qualidade (IQ_p), Equação 21.

$$IQ_p = \sum_{p=1}^n IQ_c \times R_{cp} \quad (21)$$

Esse índice considera que a existência de desvios num certo parâmetro do processo compromete uma ou mais características de qualidade do produto final.

Após a identificação dos parâmetros e características de qualidade críticos, é necessário efetuar uma avaliação do modo como os parâmetros são avaliados ao longo do processo (C_t). Esta avaliação tem que ter em conta a coerência do método utilizado; a precisão, assiduidade e duração do processo de medição e ainda a existência de análise dos valores recolhidos, como já foi referido na Fase I. Com isto, no Anexo II é apresentada a avaliação executada durante a auditoria interna perante 5 exigências: “O controlo tem de ser *Apropriado, Preciso, Rápido, Analisado e Frequente.*”

Outro fator que é avaliado é o conhecimento (C) técnico, ou seja, se o responsável pelo controlo conhece o ajuste ótimo dos parâmetros e das características de qualidade e se entende o efeito que os parâmetros têm sobre o processo e a qualidade do produto final e, o mais importante, se sabe o que fazer para corrigir/ adaptar o processo às situações atuais (decorrentes da medição).

Assim, para medir estes dois fatores é utilizada a escala de medição apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Escalas de avaliação do controlo e conhecimento técnico do processo utilizadas na elaboração do QFD

Avaliação do Controlo, C_t		Conhecimento, C	
1	Inútil (Método que cumpre apenas 1 ou nenhuma exigência.)	0,2	Muito pouco
2	Insuficiente (Método que cumpre 2 exigências.)	0,4	Pouco
3	Suficiente (Método que cumpre 3 exigências.)	0,6	Moderado
4	Favorável (Método que cumpre 4 exigências.)	0,8	Elevado
5	Irreprovável (Método que cumpre todas as exigências.)	1	Total

Finalmente, combinando os valores obtidos de IQ_p , C_t e C obtém-se o índice de priorização dos parâmetros a controlar, IP_p , pela Equação 22.

$$IP_p = \frac{IQ_p}{C_t \times C} \quad (22)$$

Com isto, serão considerados críticos os parâmetros fortemente relacionados às características de qualidade requeridas pelos clientes do produto em estudo, com baixos níveis de controlo e acerca dos quais detém-se pouco conhecimento técnico.

Assim, a partir desta matriz de relações é possível descobrir os parâmetros críticos do processo e priorizar ações de melhoria nos processos e no controlo das características mais importantes para a qualidade.

Toda esta análise apresenta-se no Anexo II.

Tendo em conta os resultados obtidos pelo estudo sustentado no desdobramento da função da qualidade é possível concluir que os parâmetros prioritários a serem controlados são:

- Vibração do tanque de mistura;
- Humidade do Granulado;
- Grau de polimerização;
- Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolhas,...);
- Temperatura e Humidade ambiente.

Para se estudar com mais pormenor estes parâmetros e qual a sua verdadeira relação com as características de qualidade do produto executaram-se alguns testes mais específicos à linha de produção.

5.1.1) Estudos dos relacionamentos entre os parâmetros de controlo prioritários e as características do produto.

A.1) Vibração do tanque de mistura: Estudo da variância do peso dos corpos ao longo dos tabuleiros da moldação.

Como já foi referido anteriormente, existe necessidade de melhorar o controlo da vibração dos tanques de mistura da moldação. Esta vibração provém de uma força exercida numa posição central do tanque com uma frequência de aproximadamente 20 Hz (varia de máquina para máquina). Como é este parâmetro que é responsável por inserir as porções de mistura de granulado, cola, óleos e água em cada molde dos tabuleiros, é necessário que exista uma

homogeneidade de vibração ao longo de todas as posições do tanque. Mas isto geralmente não acontece já que de cada lado do tanque existem ajustes (apertos) diferentes que são executados manualmente e controlados a partir de análises sensoriais (tato), ou seja, são muito pouco precisos. Além do desgaste da máquina que é aqui facilmente observado.

Assim, se a vibração não for uniforme em todo o tanque, vão existir moldes com menos mistura que outros, o que pode levar a variâncias na produção dos corpos, que é um fenómeno que é essencial prevenir em todas as unidades de produção, pois o objetivo é caminhar para a uniformidade do produto, mesmo que este tenha por base a cortiça.

Posto isto, elaborou-se um estudo da variância do peso dos corpos produzidos ao longo do tabuleiro. O primeiro passo foi definir a máquina em que se iria elaborar o teste e recolher os dados necessários, esta etapa fez-se com muito cuidado já que o objetivo seria retirar os corpos pela zona em que estariam no tabuleiro, isto é, seria necessário saber quais os que tinham sido produzidos no lado direito da máquina, no interior e os do lado esquerdo, como apresentado na Figura 15. Após a recolha dos corpos de vários tabuleiros das diferentes zona, de uma forma aleatória, mediu-se as suas características com o auxílio do equipamento *MedCork*.

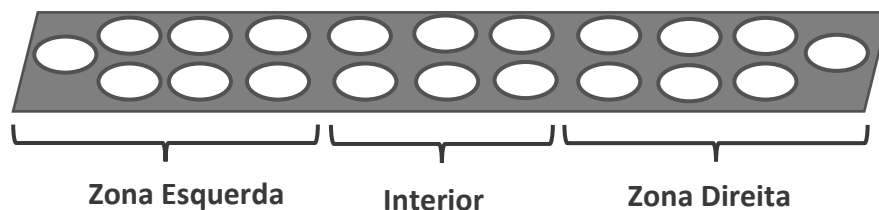


Figura 15- Esquema do tabuleiro da moldação

Com os dados reunidos aplicou-se a análise de variância de um fator e efeitos fixos para estudar a existência de variância da quantidade de mistura nos moldes ao longo do tabuleiro. Estudou-se o peso pois é a característica que dá melhores informações acerca da quantidade de mistura que cada corpo possui, sem a influência de outros fenómenos existentes durante a moldação.

Assim, para executar esta análise de variância definiram-se três grupos:

- Grupo 1: Corpos da zona direita do tabuleiro ($n = 119$);
- Grupo 2: Corpos do interior do tabuleiro ($n = 102$);
- Grupo 3: Corpos da zona esquerda do tabuleiro ($n = 119$);

Para efetuar este estudo utilizou-se o programa estatístico *SPSS* e começou-se por observar a localização relativa dos três grupos através da Figura 16. Onde se observa, um aumento dos valores médios ao longo dos grupos

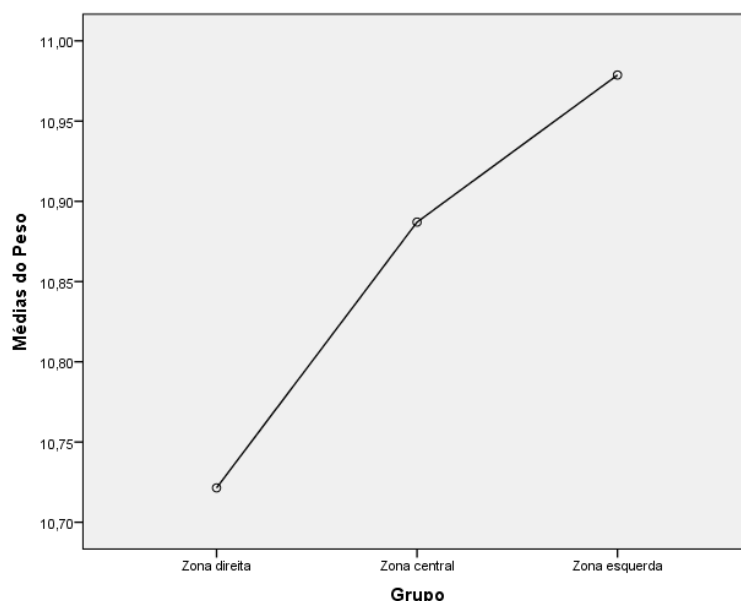


Figura 16- Representação dos pesos médios (g) nos três grupos da análise de variância.

Apesar das amostras aleatórias serem suficientemente grandes ($n \geq 30$) para ser possível aplicar o Teorema do Limite Central, vai se estudar a distribuição fazendo os testes apropriados, Tabela 8.

Tabela 8- Resultados do teste de normalidade de K-S e Shapiro-Wilk e do teste de homogeneidade de variâncias para os três grupos nos quais é executada a análise de variância (SPSS).

Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Levene			
	Statistic	df	p-value	Statistic	df	p-value	Statistic	df1	df2	p-value
1	,060	119	,200*	,982	119	,120	7,599	2	157	,001
2	,072	102	,200*	,990	102	,642				
3	,099	119	,006	,978	119	,046				

Pelos resultados presentes na Tabela 8 é possível observar que o Grupo 3 pertence à população mais afastada da normalidade e é o único grupo que possui o *p-value* inferior ao nível de significância 0,05. Assim, por este teste não é possível aceitar a hipótese que referencia a população como normal.

A partir do valor de *p-value* obtido pelo teste de *Levene*, Tabela 8, também não é possível validar a homogeneidade de variâncias, ou seja, rejeita-se a hipótese nula " H_0 : as variâncias das *g* populações são iguais".

Se considerarmos que os dados contrariam fortemente a normalidade e homogeneidade de variâncias, tem que se utilizar testes alternativos, os denominados testes não-paramétricos, como o teste de *Kruskal-Wallis*, Tabela 9. Com este teste rejeita-se a hipótese nula, ou seja, existe a confirmação da diferença de quantidades de mistura presentes nos moldes nas diferentes partes dos tabuleiros, já que $p\text{-value} < 0,05$.

Tabela 9- Resultados da análise de variância não paramétrica (Kruskal-Wallis) dos pesos dos corpos ao longo dos tabuleiros de moldação (SPSS).

Grupo	N	Mean Rank	Statistic	df	p-value
1	119	129,42	40,06	2	0,000
2	102	172,34			
3	119	210,01			

Quando se rejeita a hipótese nula da igualdade das médias, não se tem informação sobre qual ou quais dos grupos são responsáveis pela diferença. Uma das possibilidades para efetuar comparações múltiplas consiste em comparar todos os pares de médias. Utilizando o método de *Turkey* para amostras pouco desequilibradas conclui-se que o grupo que se distingue é o Grupo 3, que corresponde ao lado esquerdo da máquina, que é onde de facto onde se observa uma maior vibração.

Concluindo-se que existe variabilidade nos pesos dos corpos, confirma-se que o controlo da vibração do tanque não está a ser feito da melhor maneira já que não existe homogeneidade nos produtos produzidos nas diferentes partes do tabuleiro.

A.2) Humidade do granulado: Estudo do comportamento da humidade dos corpos em diferentes máquinas de moldação ao longo do tempo.

Uma das maiores dificuldades que esta unidade industrial enfrenta é com a humidade e os efeitos que a sua variação tem no processo e produtos. No setor da moldação é a humidade do granulado e o seu controlo (ou falta dele) que leva aos maiores problemas e não-conformidades. Este controlo (corretivo) consiste em medir a humidade dos corpos aglomerados (à saída das máquinas) e a partir destes valores ajustar manualmente a quantidade de água a inserir na mistura. Ou seja, existe uma suposição dos valores de humidade do granulado (presente no silo) a partir dos valores medidos, desta variável, nos corpos aglomerados.

Este tipo de controlo (atrasado) muitas vezes não é suficiente porque a mistura que se vai alterar já pode ter granulado com outra humidade, não a que foi presumida, e assim levar à adição de quantidades desadequadas de água. Ou mesmo que naquele momento os ajustes sejam feitos adequadamente, para misturas seguintes pode já não ser o mais indicado.

Outra peculiaridade observada é a diferença de humidades dos corpos em máquinas diferentes, o que leva muitas vezes a serem adicionadas no mesmo momento da produção, quantidades de água diferentes às várias moldadoras, mesmo sendo o granulado proveniente do mesmo silo exterior. Este facto pode ser possivelmente explicado pela existência de um passo intermédio, o despoeiramento, executado em *rotexs* diferentes. Mas isto não pode ser provado já que não existem registos históricos das quantidades de água adicionadas a cada máquina e o controlo manual executado ao granulado (antes da mistura) é pouco preciso e pouco frequente.

Assim, para estudar o comportamento da humidade ao longo do tempo em duas máquinas diferentes, com granulado proveniente de *rotex's* diferentes, fez-se uma recolha, hora a hora, de 20 corpos de um mesmo tabuleiro (provenientes da mesma mistura de granulado) e mediu-se os seus valores de humidade, com o auxílio do *MedCork*.

Comparando os valores obtidos, a partir da Figura 17, observa-se que apesar do granulado ser proveniente de *rotex's* diferentes, não vai existir variância significativa entre a humidade dos corpos produzidos nas máquinas distintas. Mas vai existir maior variância numa mesma máquina o longo do tempo, comportamento observado com a mudança de patamar da média da humidade

dos corpos a partir das 14h00. Assim, pode-se concluir que existe uma maior necessidade de controlo da humidade do granulado ao longo do tempo (em modo contínuo) em prol de um controlo individual de cada máquina, havendo comportamentos idênticos em granulados provenientes de *rotex*'s diferentes.

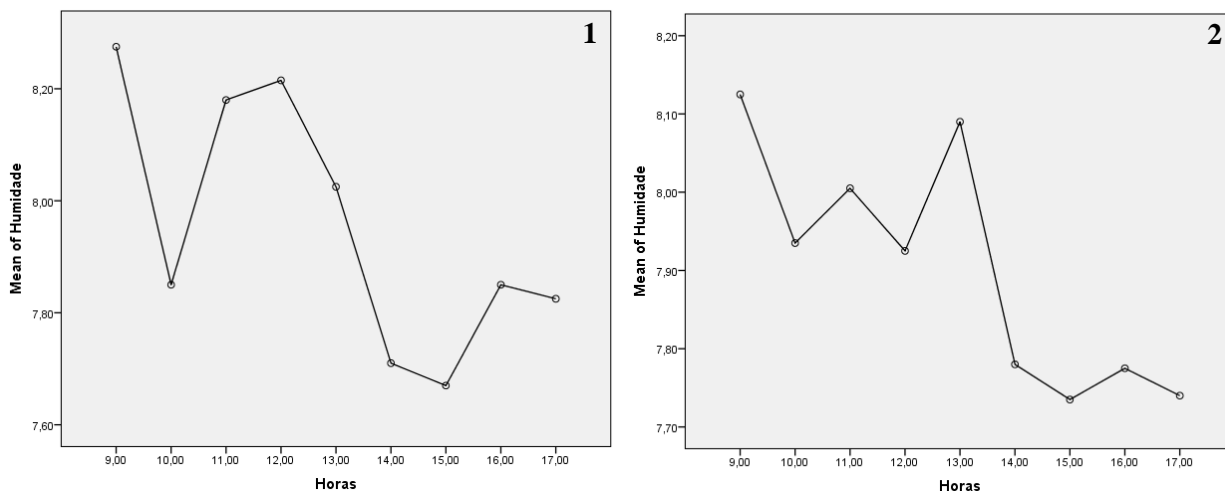


Figura 17- Valores da humidade média de 20 corpos recolhidos ao longo do tempo em duas máquinas da moldação: (1) Máquina 2 (granulado proveniente do rotex 1); (2) Máquina 5 (granulado proveniente do rotex 2).

A.3) Grau de polimerização: Estudo do fenómeno da polimerização da cola em corpos da moldação

De acordo com o código das práticas rolheiras é necessário conseguir provar que a polimerização da cola dos corpos aglomerados seja completa. Com este objetivo, atualmente, é executado, semanalmente, um teste de absorção, no laboratório, aos corpos aglomerados de cortiça saídos do setor Moldação. Aqui verifica-se a sua capacidade de absorção de água após um período de 72h submersos numa estufa a $50 \pm 5 ^\circ\text{C}$. Onde se utiliza uma balança analítica com resolução de 0,01 g para pesar os corpos individualmente antes (m_i) da imersão em água e depois (m_f) de retirados da estufa e repousados em papel de filtro durante 30 minutos.

A percentagem de água absorvida é dada pela fórmula presente na Equação 23.

$$\% \text{Absorção} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (23)$$

O resultado final é dado pela média dos resultados individuais obtidos, sendo que este valor não pode passar do limite dos 40% para corresponder a um processo com bom grau de polimerização. Apesar dos resultados conseguidos por este controlo nunca chegar a valores próximos do limite, ficando sempre abaixo do mesmo, não existe análise e tratamento dos dados obtidos, ou seja, não se conhece o comportamento da reação de polimerização atualmente.

O primeiro passo foi fazer um estudo da evolução dos valores de absorção dos últimos três anos nas várias máquinas e ao longo dos meses, como apresentado na Figura 18.

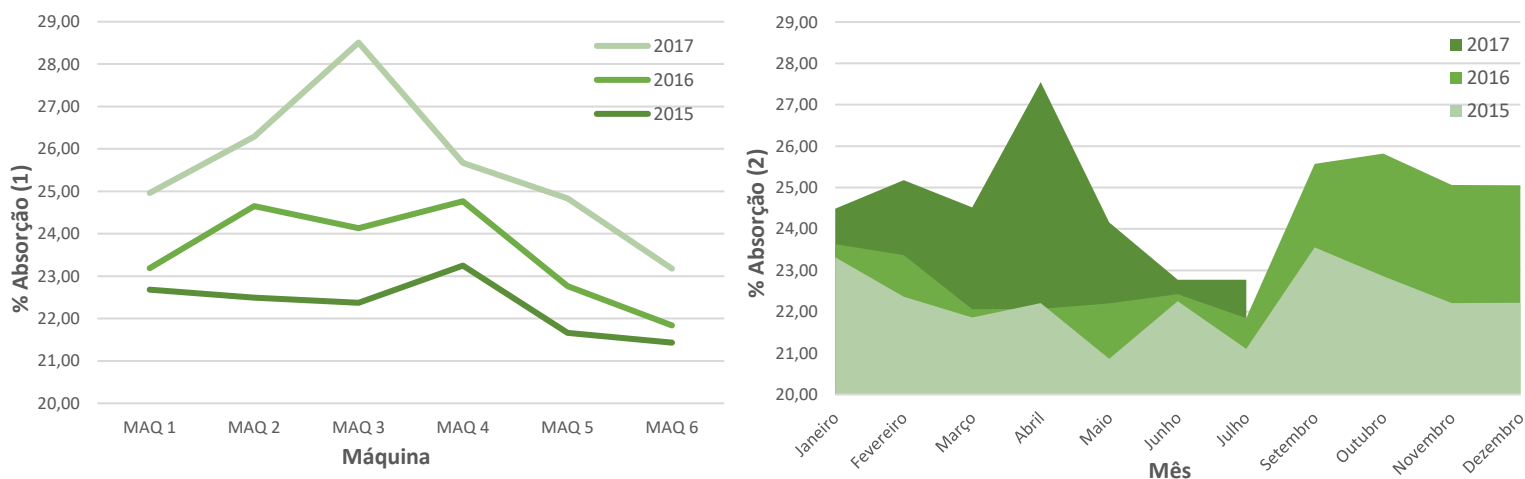


Figura 18- Representação gráfica da evolução dos valores de Absorção dos corpos aglomerados desde o ano de 2015 até à atualidade:
(1) Nas várias máquinas da moldação; (2) Ao longo dos meses do ano.

Com a observação dos dados de percentagem de absorção relativos aos últimos anos pode-se concluir que a qualidade da polimerização da cola tem diminuído, observado pelo progressivo aumento dos valores %Absorção de 2015 a 2017. Por outro lado, o comportamento entre máquinas e meses é aproximadamente o mesmo, sendo que os menores valores de absorção sentem-se nos meses de verão (entre Maio e Julho) e a partir de Setembro os valores aumentam até voltarem a descer a partir de Fevereiro, havendo como que um vale. Já nas máquinas, os corpos com maior grau de polimerização são os produzidos nas máquinas 5 e 6. Mas, no atual ano de 2017 observam-se exceções a este comportamento: o mês de Abril teve um comportamento atípico com valores muitos elevados de absorção e o mesmo aconteceu com os valores relativos aos corpos produzidos na máquina 3. Como não existe uma análise e controlo integrado das variáveis que podem influenciar este fenómeno, a causa deste acontecimento é difícil de encontrar. Com vista a conhecer melhor o comportamento do processo e melhorar a análise das variáveis que influenciam possivelmente este fenómeno executaram-se alguns testes.

• Avaliação dos parâmetros que influenciam a reação de polimerização

Uma maneira de investigar a forma como alguns parâmetros do processo influenciam a reação de polimerização é utilizar o coeficiente de *Pearson* para avaliar possíveis relações lineares entre variáveis como: %Absorção dos corpos aglomerados (ABS); Humidade do granulado colocado na consola das máquinas; Quantidade de água adicionada (HR.GR); Humidade dos corpos (HR.CP); Densidade, Peso e Expansão dos corpos (Tabela 10). Os valores de expansão foram calculados a partir da fórmula presente na Equação 24, utilizando os valores de diâmetro e comprimento dos corpos à saída das máquinas, considerando-os como cilindros para o cálculo do V_{corpo} . O V_{molde} foi calculado a partir das dimensões reais dos moldes dos tabuleiros de moldação: na Máquina 1, 2 e 3 é aproximadamente $36,3 \text{ cm}^3$ e na Máquina 4 e 5 é aproximadamente $34,2 \text{ cm}^3$.

$$\%Expansão = \frac{V_{corpo} - V_{molde}}{V_{molde}} \times 100 \quad (24)$$

As informações (de 2016 à atualidade) utilizadas para este estudo são resultado de um trabalho extenso de recolha e organização de dados, já que estes estão armazenados em diferentes fontes e formatos. Mas tentou-se ao máximo recolher informações referentes a corpos produzido no mesmo momento: às quartas-feiras de cada semana pelas 8h00-9h00, pois a recolha da amostra para executar o teste semanal de absorção é feita nesse intervalo de tempo. Também se utilizou apenas dados dos corpos produzidos nas máquinas 1 porque todos eles vão ser utilizados para a produção do mesmo tipo de produto: rolha de dois discos.

Tabela 10- Resultados dos testes de correlações entre variáveis (na reação de polimerização): %Absorção dos corpos aglomerados (ABS); Humidade do granulado/ Quantidade de água adicionada (HR.GR); Humidade dos corpos (HR.CP); Densidade, Peso e Expansão dos corpos.

		ABS	HR.GR	HR.CP	Expansão	Densidade	Peso
ABS	Pearson Correlation		-0,3	-0,3	-0,2	0,02	-0,1
	p-value		,000	,000	,001	,706	,031
	N		267	267	267	267	267
HR.GR	Pearson Correlation	-0,3		0,2	0,1	-0,1	0,01
	Sig.	,000		,006	,020	,196	,855
	N	267		267	267	267	267
HR.CP	Pearson Correlation	-0,3	0,2		0,03	-0,2	0,04
	p-value	,000	,006		,615	,011	,523
	N	267	267		267	267	267
Expansão	Pearson Correlation	-0,2	0,1	0,03		-0,3	0,1
	p-value	,001	,020	,615		,000	,109
	N	267	267	267		267	267
Densidade	Pearson Correlation	0,02	-0,1	-0,2	-0,3		0,1
	p-value	,706	,196	,011	,000		,057
	N	267	267	267	267		267
Peso	Pearson Correlation	-0,1	0,01	0,04	0,1	0,1	
	p-value	,031	,855	,523	,109	,057	
	N	267	267	267	267	267	

Observando a primeira linha da tabela constata-se que a absorção relaciona-se, apesar de por uma correlação fraca, maioritariamente com a humidade do granulado, com uma confiança de 99% ($p\text{-value} < 0,01$). Ou seja, a polimerização depende da quantidade de água adicional colocada na mistura de granulado. Como é uma relação oposta (observado pelo sinal negativo) conclui-se que é preferível a água necessária, para que ocorra reação de polimerização já estar presente no granulado em forma de humidade. Em vez de ser adicionada aquando da mistura, havendo pior polimerização (valores de %Absorção mais elevados) quanto mais água adicional for misturada.

Mas quando a humidade dos corpos produzidos é baixa vai haver uma maior absorção de água pelos mesmos. Ou seja, quantidades muito baixas de água nos corpos (humidade) também é prejudicial à polimerização. Assim, é essencial que a humidade do granulado e quantidades de água a adicionar sejam muito bem controladas. Outro fator que se correlaciona com a percentagem de absorção, isto é, com o grau de polimerização, é a expansão. Observa-se então que maiores

percentagens de expansão volumica correspondem a graus de polimerização melhores (menores valores de % Absorção).

O peso dos corpos (quantidade de mistura em cada molde) é a variável com menor relação com a polimerização. Também a densidade não afeta de uma maneira linear a absorção, ao contrário do pensamento comum, mas errado, da aglomeração: quanto menos denso, menos aglomerado o que leva a maior absorção de água. Mas esta ideia não tem em conta o grau de polimerização, que não é obrigatoriamente baixo em corpos menos densos, até porque eles podem ser menos densos pois existiu uma maior expansão (sinal de maior polimerização).

- **Variância da Expansão nas várias máquinas**

Como a expansão é uma variável que está relacionada com a absorção, a sua observação ao longo do tempo e principalmente nas várias máquinas pode ser um método, apesar de não muito preciso, de rápida análise do grau de polimerização.

Assim, primeiramente, foi efetuado um estudo de variância do fenómeno da expansão nas várias máquinas, a partir de uma ANOVA de efeitos fixos com 5 grupos.

Para isso, confirmaram-se os pressupostos da normalidade, homogeneidade de variâncias, considerando que os dados são provenientes de uma recolha dados de forma independente, sem relação entre si.

Tabela 11- Resultados do teste de normalidade dos valores da %Expansão nas várias máquinas de moldação e do teste de homogeneidade de variâncias dos valores da %Expansão (SPSS).

Grupo (g)	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene			
	Statistic	df	p-value	Statistic	df	p-value	Statistic	df1	df2	p-value
Máquina 1	0,06	51	0,200	0,99	51	0,746	4,9	4	258	0,001
Máquina 2	0,09	55	0,200	0,99	55	0,749				
Máquina 3	0,08	51	0,200	0,99	51	0,751				
Máquina 4	0,07	52	0,200	0,99	52	0,884				
Máquina 5	0,08	54	0,200	0,99	54	0,516				

Com um nível de significância de 0,05 aceita-se a hipótese nula ($p\text{-value} > 0,05$), confirmando-se a normalidade dos valores pelo teste K-S.

A partir do valor de $p\text{-value}$ obtido pelo teste de Levene, Tabela 11, não é possível validar a homogeneidade de variâncias ($p\text{-value} < 0,05$), ou seja, rejeita-se a hipótese nula (H_0). Mas na prática, a homogeneidade das variâncias só se torna importante quando as dimensões dos grupos são muito diferentes, mais precisamente, quando $n_{max} \geq 2 \cdot n_{min}$. Assim, quando as amostras não são fortemente desequilibradas, o efeito da heterogeneidade das variâncias, mesmo se acentuado não é significativo, ou seja, as consequências da não homogeneidade afetam minimamente os erros do Tipo I e do Tipo II. E como a ANOVA é um teste bastante robusto ainda pode ser utilizado nesta situação em que os grupos em teste possuem tamanhos semelhantes.

Tabela 12- Resultados do teste de variância entre grupos (máquinas da moldação): ANOVA (SPSS)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Between Groups	2330,25	4	582,56	104,13	0,000
Within Groups	1443,44	258	5,60		
Total	3773,69	262			

Fazendo a análise da Tabela 12, conclui-se que existe uma variância significativa, já que se rejeita a hipótese de igualdade entre grupos, pois $p\text{-value} < 0,05$. De seguida realizou-se o teste de *Tukey*, para verificar quais máquinas têm de facto as médias %Expansão diferentes. Para este teste também se utilizou um nível de significância 0,05 (ver Tabela 13).

Tabela 13- Resultados do teste de Tukey para os valores de %Expansão dos corpos das várias máquinas de moldação (SPSS).

Máquina (I)	Máquina (J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-0,054	0,46	1,0	-1,3	1,2
	3	0,34	0,47	0,95	-0,95	1,6
	4	-4,9	0,47	0,000	-6,2	-3,6
	5	-6,8	0,46	0,000	-8,0	-5,5
2	1	0,055	0,46	1,0	-1,2	1,31
	3	0,40	0,46	0,91	-0,87	1,7
	4	-4,8	0,46	0,000	-6,1	-3,6
	5	-6,7	0,45	0,000	-7,9	-5,5
3	1	-0,34	0,47	0,95	-1,6	0,95
	2	-0,39	0,46	0,91	-1,7	0,87
	4	-5,2	0,47	0,000	-6,5	-4,0
	5	-7,1	0,46	0,000	-8,4	-5,8
4	1	4,9	0,47	0,000	3,6	6,2
	2	4,8	0,46	0,000	3,6	6,1
	3	5,2	0,47	0,000	4,0	6,5
	5	-1,9	0,46	0,001	-3,1	-0,60
5	1	6,8	0,46	0,000	5,5	8,0
	2	6,7	0,45	0,000	5,5	8,0
	3	7,1	0,46	0,000	5,8	8,4
	4	1,9	0,46	0,001	0,60	3,1

Com este teste é possível perceber em que pares de máquinas existe diferença nos valores médios de expansão dos corpos, a partir da obtenção de $p\text{-values}$ inferiores ao nível de significância (apresentados a verde na Tabela 13). Assim, observa-se que entre as máquinas 1,2 e 3 não existe diferenças significativas, mas que estas diferem muito das máquinas 4 e 5, que também são desiguais entre si em termos de expansão de corpos produzidos.

Estas diferenças entre máquinas são possíveis de observar na Figura 19(1). Onde é possível concluir que existem de facto duas gamas de %Expansão muito distintas entre o conjunto de máquinas 1/2/3 e o conjunto 4/5.

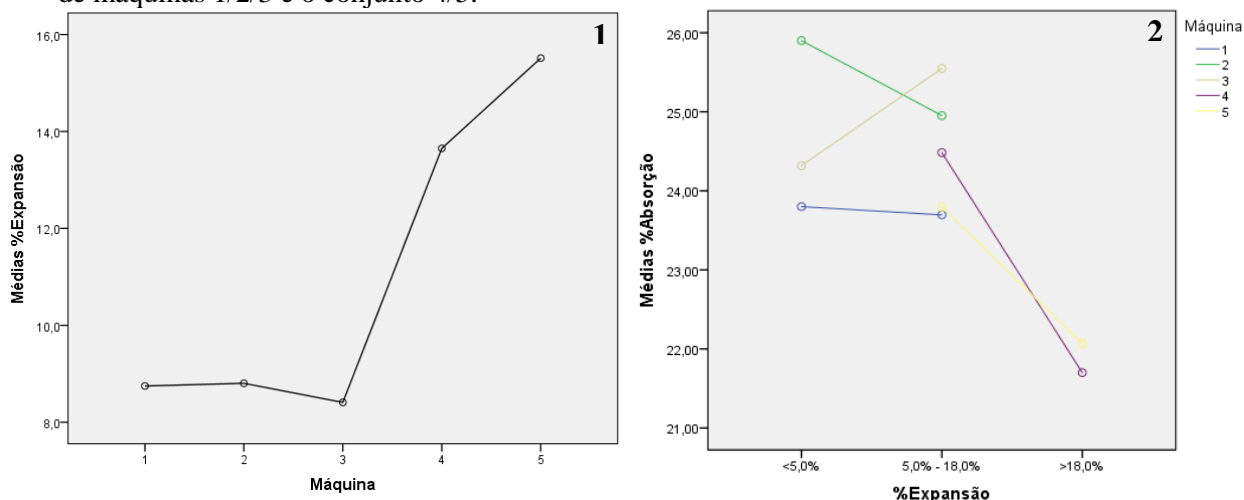


Figura 19- Representação gráfica da %Expansão dos corpos produzidos nas várias máquinas (1) e a sua relação com os valores de %Absorção dos mesmos corpos (2).

Também na Figura 19(2), sintetiza-se o comportamento da %Absorção pelos corpos produzidos nas cinco máquinas em relação à sua expansão.

É possível observar que de facto existem duas gamas tanto de expansão como de absorção dos corpos nos dois conjuntos de máquinas, confirmando-se a relação existente entre as duas variáveis. Também se confirma que a relação é oposta entre elas, exceto na máquina 3 em que existe alguma variação de causa desconhecida (provavelmente a mesma observada nos valores de absorção dos corpos da mesma máquina no ano de 2017- Figura 18).

Nota-se ainda, um maior grau de polimerização nos corpos produzidos na máquina 4 e 5, devido aos valores inferiores de absorção e superiores de expansão. Estas diferenças podem ser causadas por variações nos parâmetros do processo, como vamos estudar mais à frente.

Mas é importante referir que existe uma grande probabilidade da humidade do granulado ser um desses parâmetros, já que é provada que ela tem uma relação com o grau de polimerização. Pela Figura 20(1) conclui-se que existe de facto uma relação entre estas variáveis, já que para o conjunto de máquinas (1/2/3) os valores de humidade de granulado são mais baixos que para o conjunto (4/5), onde se observa absorções mais baixas.

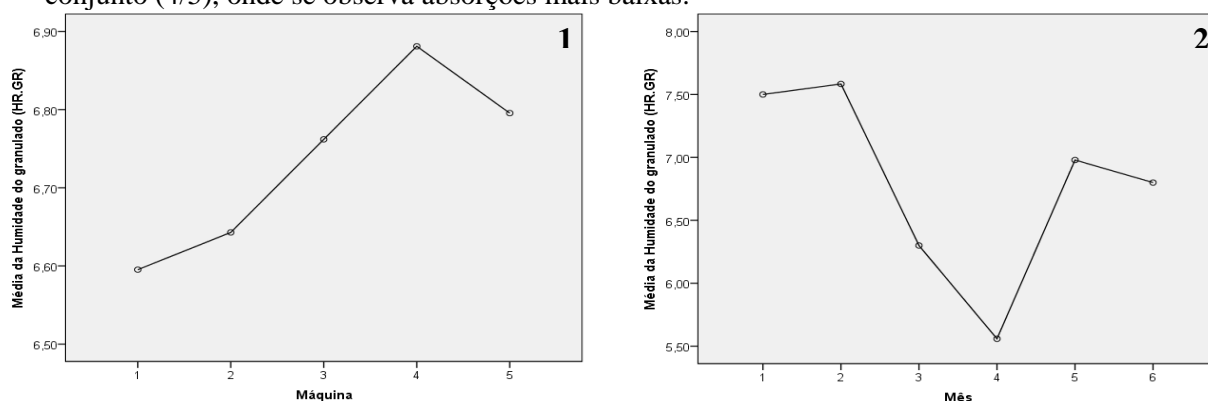


Figura 20- Representação gráfica da média de valores de humidade do granulado utilizado em cada máquina (1) e ao longo dos meses (2) de 2017.

Analisando a Figura 20(2) observa-se mais uma vez que a humidade do granulado tem influência sobre %Absorção já que no mês de Abril de 2017, onde se observa valores anormalmente elevados dessa variável a média da humidade do granulado também é muito mais baixa. Concluindo-se mais uma vez a importância que o controlo da humidade do granulado tem na Moldação, pela visível relação com o principal fenómeno que aí ocorre, a polimerização.

- **Relação da Humidade do granulado e Expansão com Absorção dos corpos.**

Como foi provado que a %Absorção é muito influenciada pela humidade do granulado e que pode ser observada na linha de produção, de uma forma indireta, pelos valores de %Expansão, estudou-se também a relação destas variáveis. Assim, na Figura 21 é possível observar-se as gamas de humidade e expansão correspondentes aos vários graus de polimerização, a partir dos valores de absorção correspondentes.

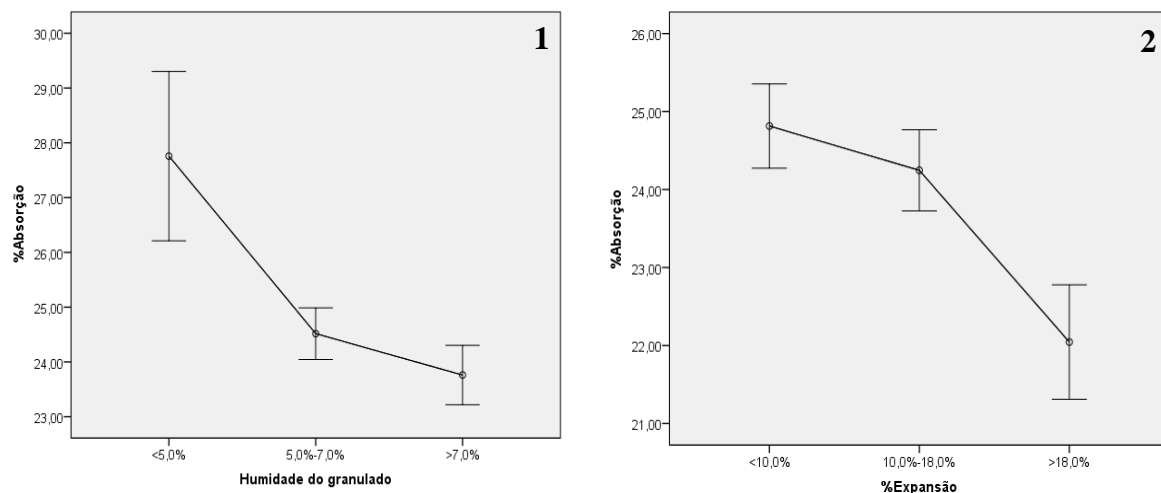


Figura 21- Representação da relação existente entre a %Absorção e a humidade do granulado (1) e a expansão (2).







Conclui-se que corpos com melhor polimerização são obtidos utilizando granulado com humidade superior a 7,0% e sofrem expansões volúmicas superiores a 18%.

- **Simulação da reação de polimerização em laboratório**

- Variação do tempo de residência e temperatura da estufa

Como a reação de polimerização ocorre consoante várias variáveis que não são possíveis de analisar, pois não existem históricos de dados, foi analisando a relação entre elas e a qualidade da reação, estudando o fenómeno de reticulação da cola. As variáveis estudadas foram a temperatura da estufa e o tempo de residência dos corpos na mesma. Para isso, foram pesadas e colocadas em formas de alumínio 20g de cola (pré-polímero) e 1,7 g de água (o equivalente a 8,6% de humidade da massa total, caso ideal para o granulado), agitando vigorosamente. Colocando-as de seguida na estufa à temperatura e ao tempo estipulado.

Os resultados obtidos para cada ensaio encontram-se sumariados na Figura 22.

		Temperatura →		
		105°C	120°C	140°C
Tempo de residência	20 min			
	30 min			

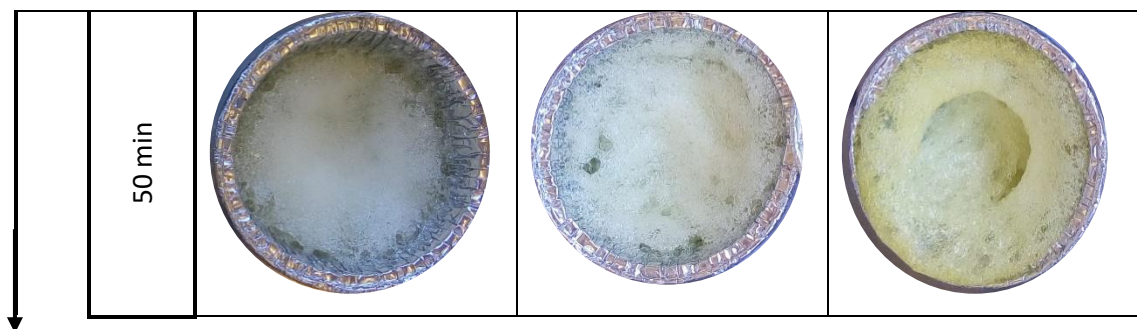


Figura 22- Resultados da simulação da reação de polimerização em laboratório, com variações na temperatura da estufa e tempo de residência na mesma.

As conclusões retiradas deste ensaio resultam da inspeção visual da reação de polimerização da cola com a água. Tendo em conta que o pré-polímero de poliuretano reage completamente quando há formação de espuma (observado pelas bolhas). Também é visualizado o crescimento dessa espuma, ou seja, o processo de expansão. Com os resultados presentes na Figura 22 conclui-se que o grau de polimerização possui uma relação direta com o tempo de residência. Ou seja, quanto mais tempo a mistura permanece na estufa, mais o pré-polímero reage, havendo formação de mais espuma (maior expansão). Por outro lado, a reação é favorecida para temperaturas da estufa mais baixas. Para temperaturas mais altas, tempos de residência baixos não são suficientes e muito elevados podem levar à danificação do material, queimando-o (observado pela aparência amarelada na Figura 22). Sendo assim, a melhor opção será trabalhar a 120°C e deixar o produto da estufa por 50 minutos.

Na realidade, as condições de operação das máquinas 1,2 e 3 são idênticas às consideradas ideais, já que a temperatura é controlada para que não passe mais de 10°C dos 120°C e cada tabuleiro está na estufa aproximadamente 40 minutos. Por outro lado, nas máquinas 4 e 5 os tabuleiros só permanecem na estufa aproximadamente 30 minutos. Apesar disto, os corpos produzidos nestas duas últimas máquinas apresentam maiores valores de %Expansão (Figura 19). Por isto houve a necessidade de executar novas simulações para diferentes quantidades de água adicionada, já que a humidade de granulado/ água adicionada à mistura é dos parâmetros que tem mais influência sobre a reação de polimerização.

- Variação da quantidade de água a reagir com o pré-polímero

Primeiramente, estudou-se quais as quantidades utilizadas para conceber as misturas de cada máquina, presentes na Tabela 14.

Tabela 14- Quantidades utilizadas nas misturas de granulado, cola e óleos em cada moldadora.

	MÁQUINA	GRANULADO (kg)	COLA (A) (g)	ÓLEO PARAFINICO (g)	PROPANOGLICOL (g)
RECEITA 3	1,2,3	30,0	4490	450	450
RECEITA 6	4,5	33,8	4975	495	495

Mas antes de se proceder à mistura da cola e óleos é essencial avaliar a quantidade de água existente, para que a reação se dê devidamente. Para isso tem que se averiguar a percentagem

de água já existente no granulado (humidade) e só depois adicionar a água necessária para que se tenha o valor ideal.

Baseando-se na Equação 19, pode-se concluir que para não ser necessário água adicional ($Qt_{\text{água}} = 0$) o granulado terá de ter humidade de aproximadamente $HR = 8,5\%$, que corresponde a 1704,3 mL de água no granulado da mistura, valor necessário para se dar uma boa polimerização da cola. Mas assim, pode-se concluir que a reta de calibração para adição de água em relação à humidade do granulado foi determinada para uma quantidade de granulado de aproximadamente 20 kg. O problema está na desadequação da Equação 19 para as quantidades utilizadas atualmente, que rodam os 30 kg de granulado como podemos observar na Tabela 18. Assim, se ainda for considerado 8,5% como o valor ideal de humidade que o granulado tem de ter, existem 2550 mL (Receita 3) e 2873 mL (Receita 4) de água nos granulados que vão ser misturados com as respetivas quantidades de cola. Existem então erros de 33% e 41%, respetivamente, quando estes valores são comparados com o valor de água tido como ideal para se dar uma boa polimerização. Já que esse valor de água ideal corresponderia a valores de humidade de granulado de 5,7% e 5,0% para a receita 3 e 6, respetivamente. Muito longe dos 8,5% pretendidos.

Conclui-se então que com esta calibração estar-se-ia a adicionar menos quantidade de água do que o necessário, se houvesse um ajuste dos valores de HR pela medição direta da humidade do granulado. Mas como o valor de HR é ajustado manualmente na máquina de acordo com a necessidade de aumentar ou diminuir a água adicionada perante os valores de humidade dos corpos aglomerados já produzidos, o erro relativo à quantidade de água adicionada diminui. Esta explicação torna-se mais explícita com alguns exemplos de cálculo presentes no Anexo III.

Com isto, simulou-se no laboratório a polimerização da cola quando ocorre com as quantidades de água influenciadas pelo erro, ou seja, com menos água do que o tido como ideal (5%) e mais água do que o necessário (12%). Os resultados também podem ser observados no Anexo IV. A partir desses resultados é possível concluir que havendo quantidades de água muito baixas, como 5% da massa total, a polimerização praticamente não ocorre. Por outro lado, havendo quantidades de água muito mais elevadas do que a considerada ideal a polimerização ainda vai ocorrer, em maior parte dos casos, devidamente.

Isto confirma-se com a análise da Figura 19(1) e 20(1): quanto maior quantidade de água existente no granulado (menos quantidade de água adicional) mais expansão/ polimerização ocorre. Sendo esta uma possível explicação para os valores mais elevados de expansão/ polimerização nas máquinas 4 e 5, já que elas trabalham com humidades de granulado ligeiramente mais elevadas e a proporção cola/ granulado, ou seja cola/ água presente no granulado, também é mais baixa, havendo assim mais água para polimerizar a própria cola.

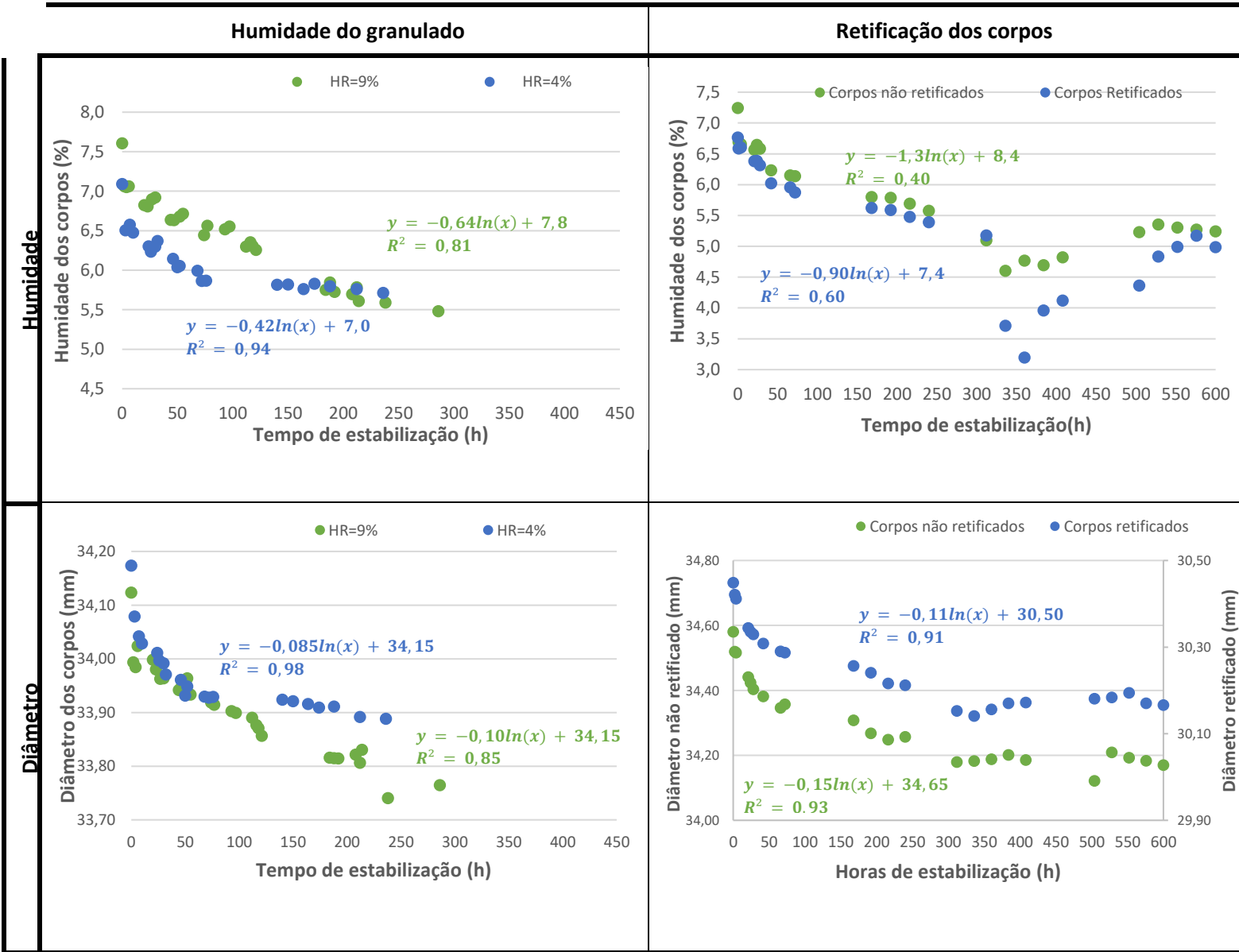
Assim, conclui-se que a utilização da reta de calibração desatualizada pode ser perigoso para a reação de polimerização e só não são observados defeitos provavelmente porque o ajuste

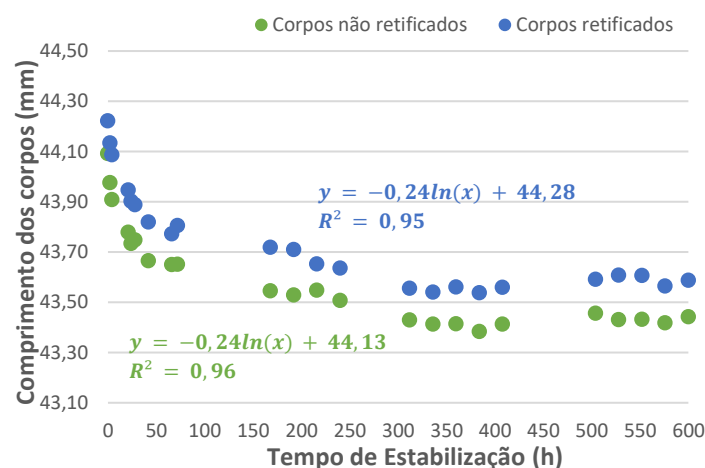
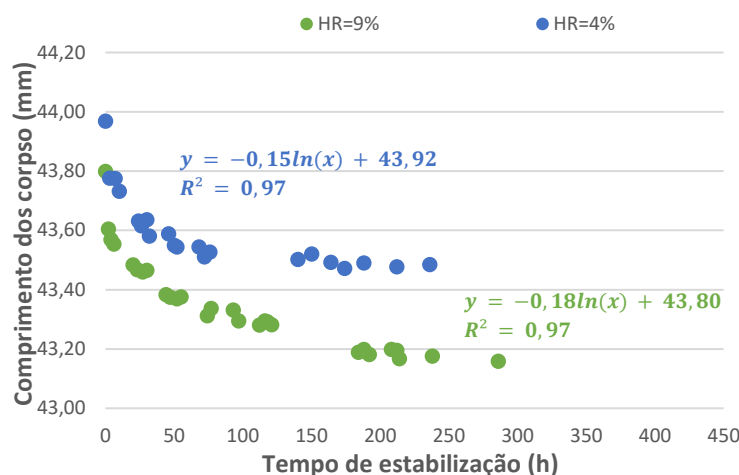
da HR é feita através do controlo corretivo, que por sua vez pode causar outros erros já referidos anteriormente.

A.4) *Tempo de Estabilização: Estudo do comportamento dos corpos aglomerados ao longo do tempo*

Depois do processo da moldação os corpos aglomerados, têm de ter um tempo de estabilização de aproximadamente duas horas nos silos, antes de serem topejados. Não existindo nenhum controlo nem norma para esta espera, estudou-se a evolução dos corpos ao longo do tempo. Estes estudos foram elaborados em amostras ($N = 90$) retiradas da máquina 2: com humidades do granulado diferentes e retificação da parede lateral. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15- Evoluções da humidade, comprimento e diâmetro dos corpos provenientes da moldação ao longo do tempo.





Com a observação dos comportamentos dos corpos ao longo do tempo e a partir dos ajustes de tendência efetuados pode-se concluir que a evolução das dimensões dos corpos, (diâmetro e comprimento) é muito idêntico em todas as situações estudadas. Ou seja, quer para corpos provenientes de granulados com diferentes humidades (quantidades de água adicionada à mistura diferentes) quer para corpos retificados o declive do ajuste logarítmico é semelhante. Assim, conclui-se que a evolução do diâmetro pode ser transcrita por $d_t = -0,11 \ln(t) + d_0$ e a do comprimento por $c_t = -0,20 \ln(t) + c_0$, onde y_t é a dimensão requerida ao tempo t e y_0 é o valor da dimensão inicial do corpo, ou seja, do tamanho que este possui à saída da moldação.

Além disto, foi notado que os declives eram ligeiramente maiores na evolução dos corpos produzidos a partir de granulado mais húmido, ou seja, vai existir uma maior retração nestes casos e é necessário mais tempo para se chegar a um valor estável.

É importante referir que estas conclusões deveriam ser confirmadas analisando a evolução temporal das dimensões dos corpos em amostras maiores e em diferentes condições.

A evolução da humidade dos corpos já não é tão semelhante em todos os casos estudados e também é observado que varia muito na própria amostra. Mas também é nos corpos produzidos a partir de granulado mais húmido que existe mais demora a atingir a estabilidade e esta estabilidade é atingida em valores inferiores, apesar de a humidade inicial ser superior.

A.5) Estudo da relação das condições ambientais com o comportamento da humidade dos corpos

Para tentar perceber o porquê da variação da humidade dos corpos ao longo do tempo foi-se estudar uma possível relação com as condições atmosféricas sentidas ao longo da estabilização dos corpos, valores estes que podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16- Resultados dos testes de correlações entre as condições atmosféricas (Temperatura e Humidade) e a humidade dos corpos aglomerados ao longo do tempo.

		Temperatura ambiente	Humidade dos corpos	Humidade ambiente
Temperatura ambiente	Pearson Correlation	1,0	0,19	-0,50
	Sig. (2-tailed)	-	0,35	,0090
	N	27	27	27
Humidade dos corpos	Pearson Correlation	0,19	1,0	0,61
	Sig. (2-tailed)	0,35	-	,0010
	N	27	27	27

A partir dos resultados apresentados na Tabela 16 conclui-se que existe uma relação considerável entre a humidade dos corpos e a humidade ambiente, já que o coeficiente de correlação de *Pearson* tem um valor moderado ($r=0,61$). Mostrando assim a proporção de variação da humidade dos corpos que vai ser explicada pela variação da humidade ambiente. Concluindo que é importante proceder à medição e controlo das condições ambientais ao longo dos períodos de estabilização, para que o produto siga para os setores seguintes nas condições ideais para o processo.

6)IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS COM VISTA A MELHORIA CONTÍNUA: fase IV e fase V

6.1) FASE IV: MELHORAR

A partir dos estudos e análises executadas na fase anterior sugeriu-se algumas melhorias para que o processo fosse mais e melhor controlado e o produto possuísse menores variâncias.

Estas melhorias apresentam-se na Tabela 17.

Tabela 17- Ações de melhoria do controlo do processo propostas par os vários setores de produção.

CONTROLO	AÇÃO DE MELHORIA	PRAZO	RESPONSABILIDADE
MOLDAÇÃO			
HUMIDADE DO GRANULADO	Controlo automático através da instalação de sensores micro-ondas (Anexo V).	2018/2019	Gerência
PESO DOS CORPOS/ QUANTIDADE DE MISTURA EM CADA MOLDE	instalação de sensores que meçam a vibração dos dois lados da câmara de mistura da máquina de moldação: Transdutores de vibração mecânica – Acelerómetros ^[17] .	2018/2019	Gerência
QUANTIDADE DE GRANULADO EM CADA MISTURA	Implementação de sistema com balança incorporada para quantificar a quantidade de granulado de cortiça a entrar para cada mistura.	2018/2019	Gerência
TEMPERATURA DOS FORNOS	Colocar sensores dos dois lados dos fornos, para verificar se há variação da temperatura ao longo do forno.	2018/2019	Gerência
CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS	Instalação de sensores para medição da temperatura e humidade atmosférica numa zona junto aos tanques de mistura.	2018/2019	Gerência
ANÁLISE DE DADOS	Implementação de sistema de recolha, tratamento e análise de dados de forma automática e em tempo real (Capítulo 4.5)	2018/2019	Gerência
TOPEJAMENTO			
CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS	Instalação de sensores para medição da temperatura e humidade atmosférica numa zona junto aos tanques de mistura.	2018/2019	Gerência
TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO	Implementação de sistema com alarme para que não fosse possível utilizar os corpos (colocados nos silos) com menos tempo de estabilização do que o estipulado.	2018/2019	Gerência
COMPRIMENTO	Implementação do mesmo (mais preciso) equipamento de medição para análise da geometria das rolhas: Comparador.	Maio 2017	Qualidade
ANÁLISE DE DADOS	Implementação de Cartas de Controlo	Setembro 2017	Qualidade
COLAGEM			
CENTRAGEM DOS DISCOS	Instalação de sensores de coordenadas para rejeição das rolhas com discos descentrados.	2018/2019	Gerência
ORIENTAÇÃO DOS DISCOS	Verificação (1xmês) pela Qualidade	Maio 2017	Qualidade
TEMPO DE RESIDÊNCIA NA ESTUFA	Medição da velocidade das máquinas (1xmês): 90-95 rolhas por minuto	Maio 2017	Qualidade
ANÁLISE DE DADOS	Implementação de sistema de recolha, tratamento e análise de dados.	2017/2018	Gerência
RETIFICAÇÃO			
DIMENSÕES	Implementação do mesmo e mais preciso equipamento de medição para análise da geometria das rolhas: Comparador.	Maio 2017	Qualidade
ANÁLISE DE DADOS	Implementação de Cartas de Controlo	Setembro 2017	Qualidade
PESAGEM			
CALIBRAÇÃO	Executar o controlo com as massas padrão em todas as linhas. Criar impressos para o seu registo.	Maio 2017	Programação
TRATAMENTO			
INSERÇÃO/DEFORMAÇÕES	Implementação de um limite (marcação) no gargalo do equipamento <i>CitCork</i> para avaliar as deformações que causam a inserção da rolha em valores rejeitados pelos clientes na linha de engarrafamento.	Maio 2017	Qualidade
PLANO DE LIMPEZA	Criação de planos de limpeza em cada setor, com verificações/ avaliações pelos encarregados semanalmente.	2018	Gerência/ Qualidade

Na Tabela 17 estão sintetizadas as propostas de melhoria mais significativas do controlo do processo nos vários setores da unidade industrial. Os pontos a negrito foram os implementados no tempo em que o estágio decorreu.

As restantes propostas implicam responsabilidades, conhecimentos e investimentos superiores por isso foi colocado um prazo de implementação mais alargado. Estas na sua maioria baseiam-se na passagem de um controlo manual, corretivo e *feedback* para um controlo automático combinando uma ação preventiva/*feedforward* com uma ação automática de realimentação *feedback*, o que implica a aquisição, instalação e programação de sensores. Como é descrito mais detalhadamente, para o setor da Moldação, no próximo ponto.

6.2) FASE V: CONTROLAR

6.2.1) ANÁLISE DE DADOS DA MOLDAÇÃO: sistema integrado de informação

Para substituir o controlo manual, corretivo e *feedback* que existe maioritariamente no setor da moldação, sugere-se transformá-lo em automático *feedback+feedforward*. Melhorando o sistema de recolha, tratamento e análise das informações retiradas ao processo, passando este a ser de uma forma automática e contínua. Assim, vai passar a existir um controlo preventivo. Esta prevenção é possível através da identificação e correção de alterações indesejáveis no processo, antes da produção de produtos não-conformes.

Para a identificação de possíveis variações e para a avaliação do desempenho real do processo têm de ser realizadas medições contínuas de alguns parâmetros do processo (*inputs*), de preferência com o auxílio de métodos precisos, como sensores. Mas também continuam a existir as medições periódicas das características do produto final (*outputs*).

Os dados recolhidos têm de ser analisados, avaliados de forma lógica e sistemática para indicação da necessidade (ou não) de ajuste do processo. A sugestão é que este controlo seja executado por um programa automático que retire informações ao processo, analise as mesmas e peça auxílio ao operador/ responsável quando necessário, através de alarmes. (Por exemplo, no controlo aos corpos já produzidos). Esta proposta está esquematizada na Figura 23.

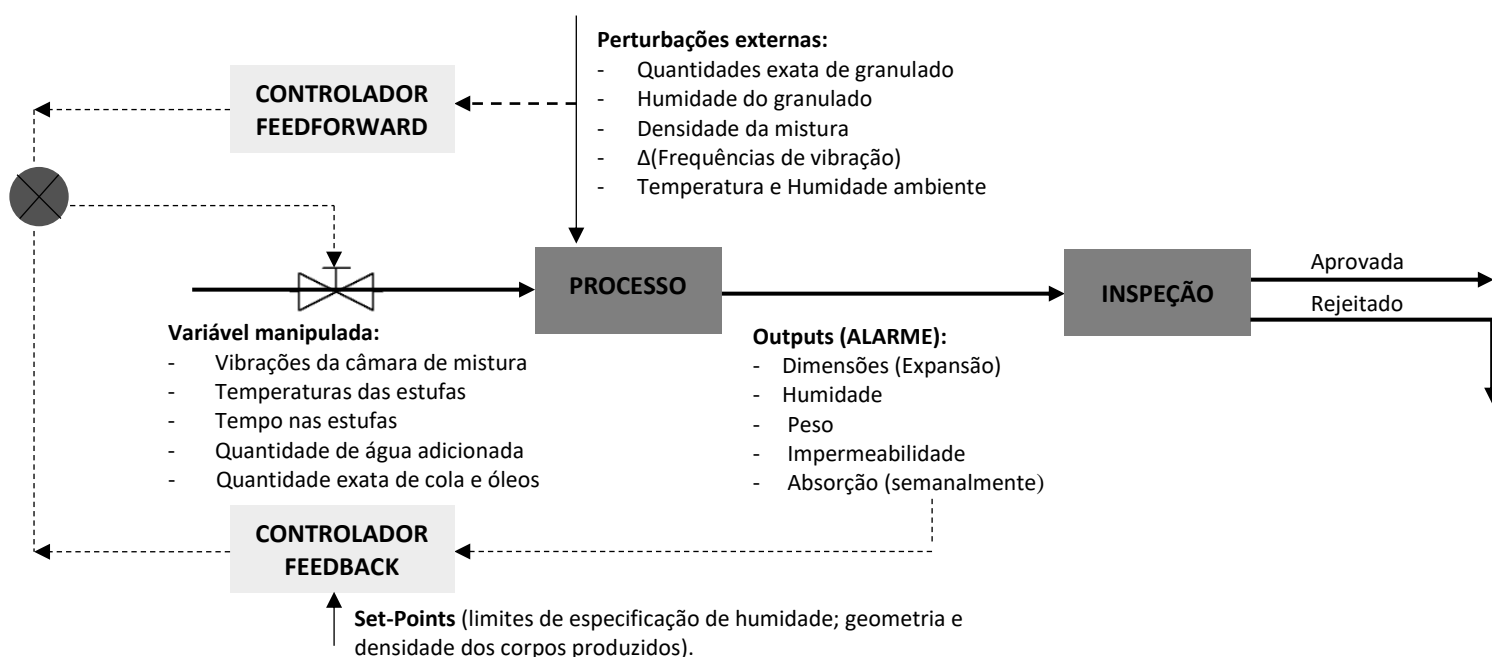


Figura 23- Esquematização da proposta de melhoria de controlo automático *feedforward+feedback*, para o setor Moldação.

Para esta transformação no controlo é necessário que exista o conhecimento do modelo do processo, ou seja, o conhecimento das equações que relacionam as variáveis de perturbação com as variáveis manipuladas. Exemplo disto, é a fórmula da quantidade de água a adicionar à mistura a partir dos valores medidos de humidade do granulado.

Com base nos estudos feitos, é necessário então, atualizar esta fórmula de cálculo tendo em conta os valores de humidade do granulado medidos continuamente (pelos sensores) e as quantidades exatas do mesmo inseridas na mistura (medida pelo sistema de pesagem adaptado à linha de produção). Também as proporções de cola e óleos a adicionar podem ser controladas com mais precisão tendo-se o valor exato de quantidade de granulado. Depois de conhecidas as quantidades certas de água, óleo, cola e granulado presentes em cada mistura é possível ajustar as temperaturas dos fornos e tempos de residência para cada situação. Já que foi observado diferentes graus de polimerização para diferentes composições nas mesmas condições temperatura/ tempo.

Por outro lado, a medição das variáveis *output* dos corpos já produzidos e posterior comparação com os limites de especificação permite confirmar se as variáveis manipuladas estão a trabalhar com os valores mais adequados para o bom funcionamento do processo.

Finalmente, para se chegar às tais equações que descrevam a relação das variáveis é fundamental a execução de testes complementares aos apresentados nesta dissertação. Que devem ser feitos na linha de produção após a montagem dos sensores e dos métodos de medição melhorados apresentados na Tabela 17.

Com isto, o sistema vai prever o que pode acontecer, trabalhando de uma forma proactiva e não apenas reativa.

6.2.2) CARTAS DE CONTROLO PARA ANÁLISE DA GEOMETRIA DAS ROLHAS (diâmetro e comprimento)

Como exemplo da implementação das cartas de controlo nos setores onde a análise da geometria das rolhas é essencial, apresentam-se de seguida os vários passos a executar no novo método de controlo para os valores de comprimento obtidos após o topejamento dos corpos na máquina 2.

Depois da recolha dos valores de 20 amostras, ao longo do tempo, de cinco corpos topejados é necessário representá-los graficamente e calcular os limites de controlo correspondentes (*LC*) a partir das equações apresentadas na Tabela 4 (ver Página 25), representando-os no mesmo gráfico (Figura 24). De seguida, é importante que os pontos fora dos limites de controlo sejam eliminados e sejam calculados novos *LC* a partir dos pontos restantes, já que os limites devem ser calculados tendo em conta apenas causas comuns de variação, isto é, tendo em conta que o processo está no estado “de controlo”. Assim, quando não existirem pontos fora dos limites, chega-se aos valores certos de *LC* a utilizar. Posto isto, a segunda fase consiste na verificação da existência de pontos fora dos limites ou com a existência de padrões específicos (Figura 9 e 10).

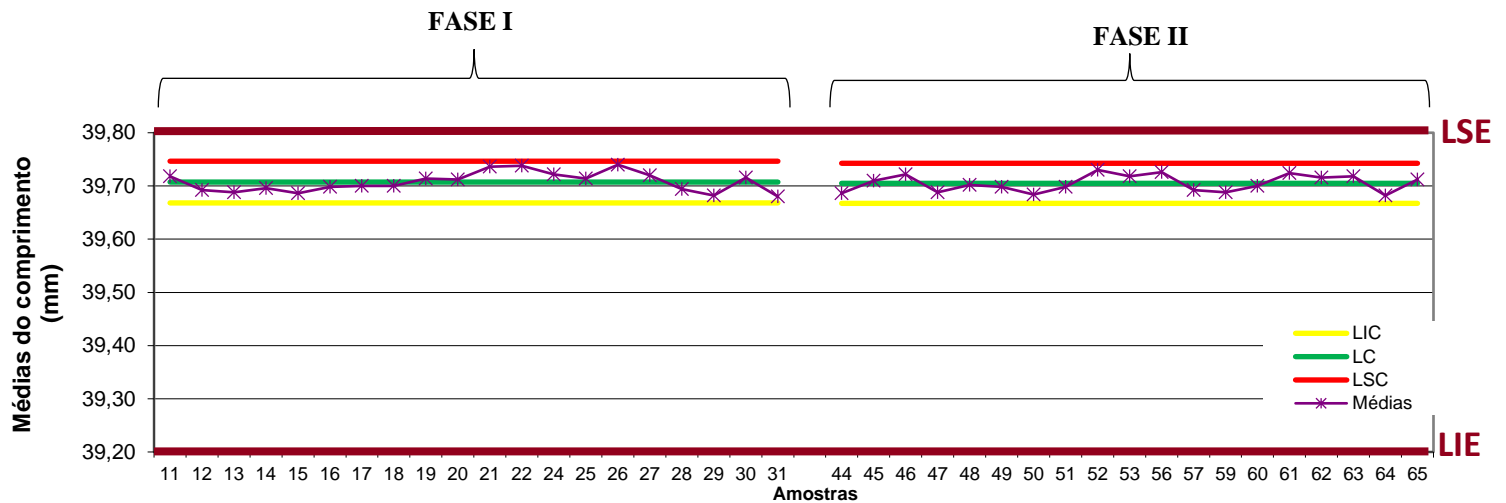


Figura 24- Representação de uma Carta de controle do comprimento dos corpos topejados produzidos na máquina 2 (FASE I e FASE II).

Também é essencial ser calculado os índices de capacidade, sendo que para a situação apresentada na Figura 24 tem-se $C_p = 3,4$ e $C_{pk} = 1,1$. Com estes valores conclui-se que este é razoavelmente capaz (Tabela 5), mas está descentrado já que $C_{pk} < C_p$. Então, é importante observar o processo e tentar identificar o problema que está a acontecer. Para este setor em questão a causa deste problema está geralmente nas lixas, no seu desgaste ou ajuste incorreto. Posto isto, tentou-se ajustar a lixa da máquina 2 o mais possível ao valor ideal de 39,50 mm.

Como ocorreu uma mudança no processo tem de se calcular novos limites de controle, da forma descrita anteriormente. Os novos valores apresentam-se na Figura 25.

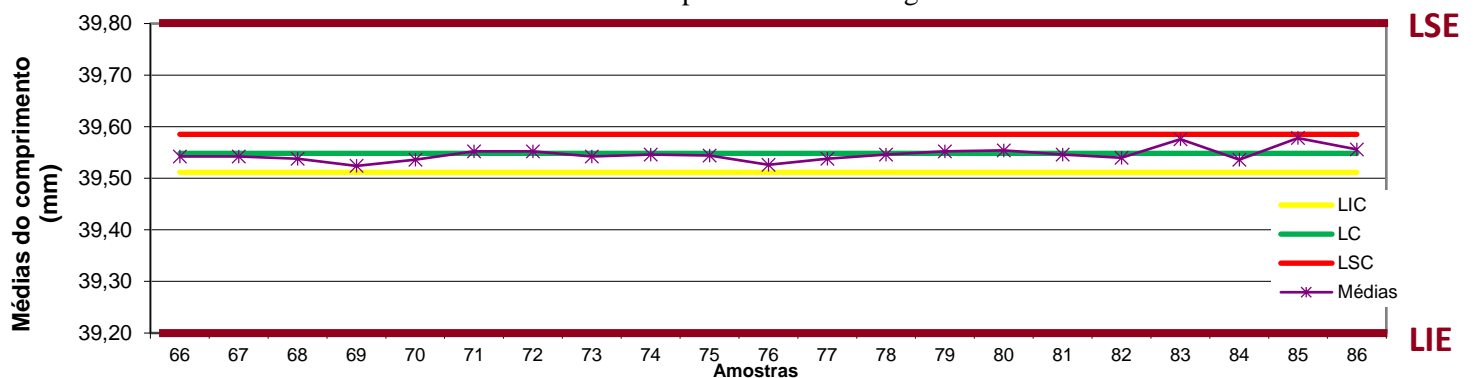


Figura 25- Representação de uma Carta de controle do comprimento dos corpos topejados produzidos na máquina 2 (Centragem do processo).

Pela Figura 25, já é possível verificar a centragem do processo que é provado pelos valores de índices de capacidade idênticos: $C_p = 3,6$ e $C_{pk} = 3,1$.

Este método de controlo é favorável de ser implementado em setores como topejamento e retificação, já que as características a controlar são apenas geométricas (comprimento e diâmetro). Sendo fácil para o próprio operador executar o controlo e resolver possíveis problemas. Porque as fontes de variação são poucas e tem origem, maioritariamente, na mecânica da máquina.

Por outro lado, em setores como a moldação e colagem as Cartas de Controlo já não são o instrumento mais ideal, já que existem diversas características para análise que estão relacionadas entre si e com muitos outros parâmetros e condições do processo. Que tornaria difícil retirar conclusões exatas acerca do que está a acontecer no processo. Por isso, propôs-se um sistema de informação integrada e controlo automático que simplifica o controlo das etapas mais complexas.

7) CONCLUSÃO

Controlar um processo significa atuar sobre ele, ou melhor, sobre as condições a que o mesmo está sujeito, de modo a atingir os melhores requisitos de qualidade e segurança. O principal objetivo, é manter as variáveis do processo dentro das gamas de operação permitidas e garantir as especificações do produto. Para isso, é necessário medir (monitorizar) o desempenho do processo e atuar sobre ele (controlar) para cumprir os objetivos processuais.

Para obter um controlo automatizado, mais fiável e versátil, é necessário ter uma visão global do processo. Para isso, foi feito um estudo preliminar onde se avaliou o estado do controlo e onde se identificaram os parâmetros mais críticos, utilizando a QFD- Desdobramento da Função da Qualidade. Feito isto, concluiu-se que seria prioritário melhorar o sistema de controlo no setor da Moldação, mais propriamente dos parâmetros: vibração do tanque de mistura, humidade do granulado e grau de polimerização da cola. Mas também, seria importante ter uma visão diferente no controlo do tempo de estabilização das rolhas nos silos e das condições ambientais nos vários setores (humidade e temperatura), já que estes parâmetros apresentavam interferências mais significativas na qualidade do produto.

Para controlar estes parâmetros com eficiência, seria necessário estudar quais as suas verdadeiras relações com as características da qualidade e o seu comportamento no processo. Para isso executaram-se testes na linha de produção e a partir deles concluiu-se que:

- A vibração difere ao longo do tanque de mistura o que leva a variâncias significativas na quantidade de mistura que entra nos moldes, ou seja, nos pesos dos corpos. O que sugere um controlo ineficiente deste parâmetro;
- A variação da humidade dos corpos ao longo do tempo é mais significativa do que de máquina para máquina/ moldadora para moldadora, sendo preferível um controlo em contínuo;
- O grau de polimerização da cola (utilizada na aglomeração dos corpos) relaciona-se com o fenómeno da expansão, podendo ser controlado indiretamente por esta característica na linha de produção;
- O grau de polimerização da cola é influenciado pela humidade do granulado e consequente quantidade de água adicionada, provando mais uma vez a importância do controlo deste parâmetro na Moldação;
- O fenómeno da polimerização é favorecido pela permanência mais longa na estufa a temperaturas mais baixas;
- Existe uma desadequação da fórmula responsável pela adição de água à mistura (na moldação) obtida a partir do valor de humidade do granulado. O que é grave já que este parâmetro tem uma relação significativa com a polimerização;

- O comportamento dos corpos ao longo do tempo de estabilização é semelhante para diferentes condições e as características dimensionais podem ser traduzidas por: $d_t = -0,11 \ln(t) + d_0$ e por $c_t = -0,20 \ln(t) + c_0$;

- A humidade dos corpos ao longo do tempo de estabilização relaciona-se consideravelmente com a humidade ambiente, provando a necessidade de existir um controlo em contínuo das condições ambientais.

Tendo em conta estes estudos efetuados e as relações que os parâmetros têm entre si, foi proposta (para o setor Moldação) a passagem de um sistema de controlo manual, corretivo e *feedback* para um controlo automático, preventivo/*feedforward*/*feedback*, que juntasse e organizasse toda a informação retirada do processo (Figura 23). Sugere-se a criação de um programa que retire as informações ao processo (através da instalação de sensores), analise as mesmas e corrija as variações indesejáveis antes de serem gerados produtos não-conformes. Funcionando assim, toda a linha de produção com menos intervenção humana.

Para os setores em que se controla as características geométricas da rolha, ou seja, na Retificação e Topejamento, propõe-se a implementação de Cartas de Controlo, como ferramenta de controlo estatístico de fácil utilização por parte dos operadores na linha de produção.

Ao longo do estágio, foram também alterados pequenos procedimentos na execução do controlo, Tabela 17, que auxiliaram na sua melhoria.

Assim, todas as alterações implementadas e sugestões projetadas tiveram um único objetivo: atingir a melhoria contínua e a adequação aos tempos modernos e tecnologias existentes.

SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Efetuar estudos para adequar a fórmula de adição de água a cada situação: quantidade de granulado diferente com humidades distintas, temperaturas dos fornos diferentes e tempo de residência nos fornos diferentes;
- Executar estudos complementares ao comportamento dos corpos (com quantidade de água adicionada diferentes) ao longo do seu tempo de estabilização, medindo em contínuo as condições atmosféricas, humidade e temperatura. Para confirmar os ajustes obtidos e tentar encontrar um que relaciona a humidade dos corpos com as condições atmosféricas. Com isto é possível ter-se uma visão diferente no sistema de controlo do tempo de estabilização nos silos;
- Fazer estudos na linha de produção, na própria moldadora, ao comportamento dos corpos em diferentes condições: temperatura dos fornos e tempo de residência. Para confirmação dos resultados obtidos em laboratório;
- Fazer estudos complementares aos corpos saídos da Moldação, medindo a sua expansão e absorção (teste em laboratório) para ajustar uma fórmula à relação entre eles, de forma a ser utilizada no controlo como verificação direta do grau de polimerização;
- Após a montagem dos sensores de vibração e sensores micro-ondas de verificação da humidade do granulado, numa moldadora, criar um sistema integrado de informação e controlo, aplicando os ajustes e relações estabelecidos.





BIBLIOGRAFIA

- [1] – Associação Portuguesa de Cortiça, 2017. Acedido em Abril de 2017. <http://www.apcor.pt>.
- [2] - Campos, A.R., 2000. Comportamento de Compósitos Borracha/Cortiça para Aplicação em Juntas. Universidade do Minho.
- [3] - Gil, Luís, 1998. Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. Lisboa.
- [4] - Silva, M.M., 2010. Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais: A cortiça – suas características e propriedades, UTAD.
- [5] – Doyle, E.N., 1971. The development and use of polyurethane products. McGraw-Hill. New York.
- [6]- Billmeyer, Jr. Fred W., 1984. Textbook of Polymer Science, 3rd edition. John Wiley & Sons. New York.
- [7] - Silva, A.L.D., 2005. Síntesis, caracterización y propiedades de adhesión de adhesivos basados en quasi-prepolímeros de isocianato terminal. Tesis Doctoral, Alicante, Espanha, Universidad de Alicante.
- [8] - Vilar, W.D., 2002. Química e Tecnologia de Poliuretanos, Pronor.
- [9] – Young, R.J. e Lovell, P.A., 2002. Introduction to polymers, 2nd edition. Nelson Thornes Ltd. United Kingdom.
- [10] - Viana, M.M.F., 2007. Pré-Polímeros Reativos de Poliuretano: Processo de Síntese e Estudos de Aplicação. IST. Lisboa.
- [11] - Montgomery, D.C., 2009. Introduction to Statistical Quality Control, 6th edition. John Wiley&Sons. Arizona.
- [12] – Pereira, Z.L. e Requeijo, J.G., 2012. Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos. Coedição de FFCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, 2ª Edição. Caparica.
- [13]- Guimarães, R.C. e Cabral, J.A.S., 2007. Estatística, 2ª Edição. McGraw-Hill. Porto.
- [14]- Ghasemi, A. e Zahediasl, S., 2012. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. Int J Endocrinol Metab, 10(2): 486-9. DOI: 10.5812/ijem.3505
- [15]- Mukaka, M.M., 2012. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. Malawai Medical Journal.
- [16]- Evans, J.R. e Lindsay, W.M., 2008. The Management and Control of Quality, 7th edition. Thompson Learning.
- [17]-Sequeira, Cláudia, 2012. Sensores para medições de vibrações mecânicas-Acelerómetros. Manutenção, nº116.

ANEXOS

ANEXO I: TABELAS DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CONTROLO DO PROCESSO

Tabela 18- Agrupamento dos equipamentos utilizados no controlo do processo ao longo dos vários setores de produção: característica medida, descrição, precisão e fotografia.

CARACTERISTICA MEDIDA	EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	PRECISÃO	FOTOGRAFIA
Diâmetro (mm) Comprimento (mm) Peso (g) Humidade (%HR)	MedCork	Sistema automático, em que as medições são transferidas para um relatório do programa denominado “EGITRON ControLab”.	$\pm 0,01mm$ $\pm 0,01mm$ $\pm 0,01g$	
Diâmetro (mm) Comprimento (mm)	Paquímetro	Instrumento digital que avalia as dimensões a partir de dois bicos de medição que são ajustados ao produto a controlar.	$\pm 0,01mm$	
Diâmetro (mm) Comprimento (mm)	Comparador	Medidor eletrónico que possibilita uma leitura rápida, indicando instantaneamente a medida no display, tem a possibilidade de saída das medições para miniprocessadores estatísticos.	$\pm 0,01mm$	
Peso (g)	Balança digital	-	$\pm 0,01g$	




Humidade (%HR)	Higrómetro (com godé)	Dispositivo para medição da humidade de partículas de pequenas dimensões depositando-as numa espécie de copo metálico compactando-as.	$\pm 0,1\%$	
Fugas	Máquina de Impermeabilidade	Análise de 12 rolhas em simultâneo imersas num tanque com água, onde é injetada água a uma pressão controlada.		
Compressão, Inserção e Relaxação	CitCork	Simulação do rolhamento, Sistema automático com a sua própria programação que permite grande flexibilidade de configuração (velocidade, posição, aquisição). Os dados são também transferidos para um relatório do programa "EGITRON ControLab".	Tabela 22	
Condições ambientais: Temperatura (°C) Humidade (%)	Termohigrómetro	Este aparelho armazena o valor máximo e mínimos alcançados de humidade e temperatura em determinado intervalo de tempo.	$0 - 50^{\circ}\text{C} \pm 0,01$ $20 - 90\% \pm 1$	

Tabela 19- Valores orientativos para os ensaios de inserção e compressão executados no equipamento CitCork.

Calibre	Limites de Inserção		Limites de compressão
	T0	T7	
47x29,5 48,29,5	$110 \pm 20 \text{ daN}$	$135 \pm 35 \text{ daN}$	$1100 \pm 300 \text{ daN}$
48x30 48x30,5 48x30	$115 \pm 25 \text{ daN}$	$155 \pm 25 \text{ daN}$	$1200 \pm 300 \text{ daN}$
48x31	$120 \pm 25 \text{ daN}$	$170 \pm 30 \text{ daN}$	$1300 \pm 300 \text{ daN}$

ANEXO II: TABELAS DE AVALIAÇÃO DO CONTROLO DO PROCESSO

Tabela 20- Resultados da auditoria interna realizada para avaliação do controlo existente (inicialmente) aos parâmetros do processo

PARÂMETROS		AVALIAÇÃO DO CONTROLO					
MOLDAÇÃO		Apropriado	Preciso	Rápido	Analísado	Frequente	Obs.
Temperatura e Humidade ambiente		✓	✓			✓	
Humidade do granulado				✓			
Quantidade de água adicionada à mistura					✓	✓	
Quantidade s adicionadas à mistura (calibração)	Massa de óleos e cola	✓	✓		✓		
	Caudal de água	✓	✓		✓		
Composição da mistura (receita)		✓	✓	✓		✓	(Informação automática: consola)
Falta de mistura no tanque de mistura			✓		✓		
Vibração do tanque de mistura				✓		✓	Sensorial
Temperatura dos fornos (Ventilação)		✓	✓	✓		✓	(Informação automática: consola)
Grau de polimerização*					✓	✓	
Humidade dos corpos*		✓	✓	✓	✓	✓	
Densidade dos corpos*		✓	✓	✓	✓	✓	
Dimensões dos corpos*		✓	✓	✓		✓	
Peso dos corpos*		✓	✓	✓		✓	
Impermeabilidade dos corpos*		✓	✓	✓	✓	✓	
Peso (10 corpos)				✓	✓	✓	
Limpeza							
TOPEJAMENTO		Adequado	Preciso	Rápido	Analísado	Frequente	Obs.
Temperatura e humidade ambiente							Inexistente
Estado das lixas/ mós		✓		✓			
Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)				✓		✓	
Limpeza							Inexistente

Comprimento dos corpos*			✓	✓	✓	
COLAGEM	Adequado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Controlo da alimentação de corpos mal topejados	✓	✓	✓			
Funcionamento do sensor da cola	✓	✓	✓			
Verificação da centragem dos discos	✓		✓		✓	
Verificação da (célula) de orientação dos discos	✓	✓		✓		
Verificação dos sensores de extração	✓	✓	✓			
Tempo de residência na estufa/ Velocidade da máquina	✓	✓		✓		
Temperatura da estufa	✓	✓	✓		✓	(Informação automática: sensores)
Contabilização de microparagens	✓		✓			
Descolagens (teste fervura)	✓			✓	✓	
Limpeza						Inexistente
RETIFICAÇÃO	Adequado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Temperatura e humidade ambiente						Inexistente
Estado das lixas/ mós	✓	✓		✓	✓	
Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)	✓		✓		✓	
Limpeza						Inexistente
Dimensões das rolhas	✓				✓	
PESAGEM	Adequado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Calibração das balanças	✓		✓		✓	Executado de maneira diferente nos vários setores
ESCOLHA ELÉTRONICA	Adequado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Qualidade da cortiça	✓	✓	✓	✓	✓	
Programação das máquinas de escolha	✓	✓		✓	✓	
Verificação da separação das máquinas (classes, defeitos, chanfro ao contrário)	✓	✓		✓	✓	
MARCAÇÃO	Adequado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Controlo da marca (posição, centragem, defeitos,...)	✓		✓		✓	

Controlo da banda de parafina			✓		✓	
Temperatura da máquina	✓	✓	✓		✓	
Controlo dos silos (mistura de rolha)	✓	✓	✓			
TRATAMENTO	Apropriado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Temperatura e humidade ambiente			✓		✓	
Quantidade de tratamento			✓	✓	✓	
Tipo de produto utilizado	✓	✓		✓	✓	Testes ao produto é feito em laboratórios exteriores
Forças de compressão e inserção (simulação de engarrafamento)	✓	✓	✓	✓	✓	
Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)			✓		✓	
EMBALAGEM	Apropriado	Preciso	Rápido	Analizado	Frequente	Obs.
Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)			✓		✓	
Doseador de SO ₂	✓		✓		✓	
Selagem dos sacos	✓		✓		✓	
Deteção de metais	✓	✓	✓	✓	✓	
Calibração de detetor	✓	✓	✓		✓	
Verificação da máquina de contra	✓	✓		✓		

Tabela 21- Análise da priorização dos parâmetros a controlar ao longo dos vários setores de produção.

				CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE												Índice de Qualidade	Avaliação do controlo	Conhecimento técnico	Índice de Priorização		
			GI	Comportamento da vedação da rolha	Dimensional	Distribuição uniforme / Qualidade de aglomeração	Teor de Humidade	Conformidade da colagem dos discos	Classe visual/ Defeitos	Conformidade da marca	Performance de engarrafamento	Elasticidade/ recuperação dimensional	Controlo organoléptico (Sensorial)	Contaminações (externos/ resíduos tratamento/ pó)	Conformidade microbiológica					Misturas	
REQUISITOS	Desempenho/ Funcionalidade		4	9	3	9	3	9	3	0	9	9	9	3	9					9	
	Estrutura/ Estabilidade estrutural		2	3	9	9	9	9	0	0	1	9	0	1	0					3	
	Acabamento/ Aparência		3	0	1	1	0	0	9	9	0	0	0	9	0					9	
	Facilidade de aplicação		3	9	9	3	1	1	0	0	9	9	0	1	0					3	
	Inocuidade		5	9	0	0	3	3	1	0	0	0	9	3	9	0					
IQ _c			114	60	66	48	72	44	27	65	81	81	59	81	78						
PARÂMETROS DO PROCESSO	MOLDAÇÃO	Temperatura e Humidade ambiente		0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	255	3	0,2	425	
		Humidade do granulado		1	9	1	9	3	0	0	1	3	1	0	1	0	1838	1	0,8	2298	
		Quantidade de água adicionada à mistura		1	9	1	9	3	0	0	1	3	0	0	1	0	1757	2	0,6	1464	
		Quantidades adicionadas à mistura (calibração)	Massa de óleos e cola		9	1	3	1	1	0	0	1	3	0	0	0	0	1712	3	0,8	713
			Caudal de água		1	9	1	9	3	0	0	1	3	0	0	1	0	1757	3	0,8	732
		Composição da mistura (receita)		9	1	3	1	1	0	0	1	3	0	0	0	0	1712	3	0,4	1427	
		Falta de mistura no tanque de mistura		9	3	9	1	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2156	4	0,8	674	
		Vibração do tanque de mistura		9	3	9	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2043	2	0,4	2554	
		Temperatura dos fornos (Ventilação)		3	9	9	9	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2216	4	0,6	923	
		Grau de polimerização*		9	1	3	1	1	0	0	1	3	0	0	0	0	1712	2	0,2	4280	
		Humidade dos corpos*		0	3	1	9	3	0	0	1	1	1	0	1	0	1202	5	1,0	240	
		Densidade dos corpos*		9	1	9	0	1	3	0	3	3	0	0	0	0	2322	5	0,8	581	
		Comprimento dos corpos*		0	9	1	0	9	0	1	1	0	0	0	0	0	1346	4	0,2	1683	
		Diâmetro dos corpos*		1	9	1	0	3	0	1	3	3	0	0	0	0	1401	4	0,2	1751	
		Peso dos corpos*		9	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1527	5	0,6	509	
		Impermeabilidade dos corpos*		9	0	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	2205	3	1,0	735	
		Peso (10 corpos)		9	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1527	1	0,8	1909	
		Limpeza		0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	9	3	0	1215	1	0,2	6075	

PARÂMETROS DO PROCESSO	TOPEAMENTO	Temperatura e humidade ambiente	0	3	0	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	477	2	0,2	1193
		Estado das lixas/ mós	1	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1302	2	0,8	814
		Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)	0	1	0	3	3	0	0	1	3	0	0	0	9	1430	1	0,6	2383
		Limpeza	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	3	0,2	300
	COLAGEM	Comprimento dos corpos*	0	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	708	3	1,0	236
		Funcionamento do sensor de orientação dos discos	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	477	3	1,0	159
		Verificação da centragem dos discos	1	1	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	954	3	0,8	398
		Controlo da alimentação de corpos mal topejados	0	3	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	828	3	1,0	276
		Funcionamento do sensor da cola	1	0	0	1	9	3	0	0	0	0	0	0	0	942	3	1,0	314
		Verificação da (célula) de orientação dos discos	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0	477	3	1,0	159
		Verificação dos sensores de extração	0	3	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	876	3	0,8	365
		Tempo de residência na estufa/ Velocidade da máquina	1	3	0	3	9	0	0	0	1	0	0	0	0	1167	3	0,6	648
		Temperatura da estufa	0	1	0	9	9	0	0	0	3	0	0	0	0	1383	3	0,6	768
		Contabilização de microparagens	0	1	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	756	4	0,2	945
		Descolagens (teste fervura)	1	0	0	0	9	0	0	1	0	0	0	0	0	827	2	0,6	689
		Limpeza	0	0	0	3	9	0	0	0	1	1	0	3	0	1197	3	0,4	998
	RETIFICAÇÃO	Temperatura e humidade ambiente	0	3	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	405	1	0,2	2025
		Estado das lixas/ mós	1	9	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	962	4	0,6	401
		Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)	0	9	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0	9	1587	3	0,6	882
		Limpeza	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	357	1	0,2	1785
		Dimensões das rolhas	3	9	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	1401	2	0,8	876
	PESAGEM	Calibração das balanças	0	0	9	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	1071	3	1,0	357
	ESCOLHA ELECTRÓNICA	Qualidade da cortiça	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	1	0	0	536	5	1,0	107
		Programação das máquinas de escolha	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0	1	0	3	716	4	1,0	179
		Verificação da separação das máquinas (classes, defeitos, chanfro ao contrário)	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	1	0	0	536	4	1,0	134
	MARCAÇÃO	Controlo da marca (posição, centragem, defeitos,...)	0	0	1	0	0	3	9	0	0	0	1	0	1	578	3	1,0	193
		Controlo da banda de parafina	3	0	0	0	0	9	0	3	0	0	3	0	0	1110	2	1,0	555
		Temperatura da máquina	0	1	0	1	0	1	9	0	0	0	0	0	0	395	4	0,8	123
		Controlo dos silos (mistura de rolha)	0	1	0	0	0	3	9	0	0	0	0	0	9	1137	3	1,0	379

PARÂMETROS DO PROCESSO	TRATAMENTO	Temperatura e humidade ambiente	9	3	0	3	0	0	0	9	3	0	9	0	0	2709	2	0,6	2258
		Quantidade de tratamento	3	0	0	1	0	0	0	9	0	1	9	0	0	1587	3	0,8	661
		Tipo de produto utilizado	9	0	0	0	0	0	0	9	0	0	9	0	0	2142	4	0,4	1339
		Forças de compressão e inserção (simulação de engarrafamento)	9	0	1	0	0	0	0	9	1	0	0	0	0	1758	5	0,8	440
		Controlo dos silos (mistura de rolha, ...)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	702	2	0,6	585
	EMBALAGEM	Controlo dos silos (tempo de estabilização, mistura de rolha, ...)	1	0	0	0	0	0	0	9	1	0	9	0	9	2013	2	0,4	2516
		Doseador de SO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	729	3	0,4	608
		Selagem dos sacos	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	9	0	1116	3	0,4	930
		Deteção de metais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	765	5	0,8	191
		Calibração de detetor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	765	4	0,8	239
		Verificação da máquina de contra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	702	3	1,0	234

***Controlo corretivo:** Parâmetros/ Características medidas ao produto já produzido

ANEXO III: EXEMPLOS

Exemplo 1- CASO IDEAL ($Qt_{\text{água}} = 0$):

Se não existisse necessidade de adicionar água, ou seja, o granulado já teria a percentagem de água indispensável à polimerização, em forma de humidade.

$$Qt_{\text{água}} = 1704,3 - 196,19 \times HR = 0 \text{ mL} \quad (25)$$

$$HR \approx 8,6\% \quad (26)$$

Exemplo 2- CASO IDESEJADO ($HR = 0$):

Se não existisse qualquer água no granulado da mistura, era necessário adicionar toda a água indispensável à polimerização.

$$Qt_{\text{água}} = 1704,3 - 196,19 \times 0\% \quad (27)$$

$$Qt_{\text{água}} \approx 1704,3 \text{ mL} \quad (28)$$

Assim, observa-se que o valor ideal de humidade do granulado é de 8,6% e a quantidade de água que tem de estar presente na mistura para existir uma boa polimerização é de pelo menos 1704,3 mL.

Contudo, é importante referir que estes exemplos são impossíveis de ocorrer na realidade já os lotes de matéria-prima são controlados antes de serem adquiridos para produção.

Exemplo 3- Quantidade de granulado

Então, numa mistura de granulado com uma quantidade de água ideal para a polimerização (1704,3 mL) em forma de humidade (8.5%), existe X g do mesmo:

$$8,5\% \text{ ————— } 1704,3 \text{ mL} \quad (29)$$

$$100\% \text{ ————— } X \text{ g}$$

Tendo em conta a densidade da água (1 g/mL):

$$8,5\% \text{ ————— } 1704,3 \text{ g} \quad (30)$$

$$100\% \text{ ————— } X$$

$$X \approx 20 \text{ kg}$$

Observa-se então que a reta de calibração foi estipulada para misturas de 20 kg de granulado, o que já não é adequado para as receitas atuais.

ANEXO IV: SIMULAÇÃO DA POLIMERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO

+ ÁGUA

+ ÁGUA

+ ÁGUA

























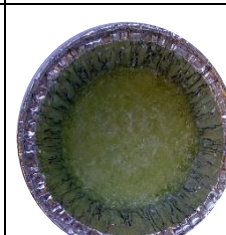


		Temperatura								
		105°C			120°C			140°C		
Tempo de residência	20 min									
	30 min									
	50 min									

Figura 26- Resultados do estudo da polimerização da cola (em laboratório) em vários tempos de residência e temperaturas da estufa.

ANEXO V: INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLO (MELHORIAS)

V.1) Sensor Humidade por micro-ondas

Existem vários métodos de medição de humidade no controlo de processos *on-line*, mas o método menos afetado por impurezas, cor, tamanho das partículas, temperatura ambiente e que é totalmente seguro é a medição baseada em radiações micro-ondas.

Para medir a humidade com precisão, é necessário determinar o número de moléculas de água presentes no material.

Isso é possível com este método, que baseando-se na medição de alta frequência elétrica consegue determinar a humidade de sólidos.

Ou seja, durante a transmissão das micro-ondas, os componentes do produto são polarizados a diferentes intensidades, resultando numa perda de velocidade e de energia do sinal micro-ondas. A redução de velocidade provoca uma mudança na fase do sinal e o enfraquecimento da energia causa uma atenuação nas micro-ondas.

Assim, se portadores de carga livre ou materiais polarizados (como moléculas de água) estiverem presentes no produto, este efeito é desproporcionalmente maior. A influência da água sobre o sinal é de cerca de 40 vezes maior do que a influência de outros componentes. Fica então evidente que a medição é seletivamente sensível à concentração de água.

Para permitir isto, o material a ser medido é passado por uma placa frontal de cerâmica ou por uma cabeça do sensor de humidade micro-ondas, que irradia um campo eletromagnético com uma potência extremamente baixa. Assim, devido ao efeito dipolar das moléculas de água, a frequência de ressonância de um ressoador de micro-ondas muda com as variações no teor de humidade. São estas mesmas variações que são detetadas pelo sistema elétrico do sensor.

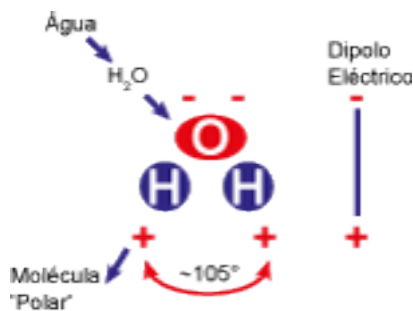


Figura 27- Esquematisação das interações que acontecem com o sensor micro-ondas de medição da humidade.

Em seguida, são medidas em termos de 'unidades não graduadas', que são graduadas por um processo de calibração, para fornecer uma leitura precisa da humidade presente. O sinal resultante é novamente enviado através de uma ligação de comunicações analógica (0-20mA [0-10v] ou 4-20mA) ou digital RS485 para o sistema de controlo das instalações, permitindo ajustes automáticos no processo de adição de água.

Esta tecnologia de medição de humidade por micro-ondas provou-se ser rentável para uma grande variedade de aplicações exigentes.

Usando sinal de transmissão FMCW (Onda contínua com modulação em frequência), com uma frequência de abrangência de 2,7 - 3,4 GHz que é transmitida através do processo:

Comparação das ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas. Um circuito oscilador gera uma onda portadora que passa por um processo de modulação em frequência por meio de um sinal modulante. O sinal modulante aplicado a este experimento é produzido por um conversor de valores binários em níveis de tensão que causam um desvio proporcional do oscilador controlado por tensão (VCO) gerando novas frequências na portadora que será transmitida.

EXEMPLO: Produto: Hydro-Probe XT da Empresa: Hydronix

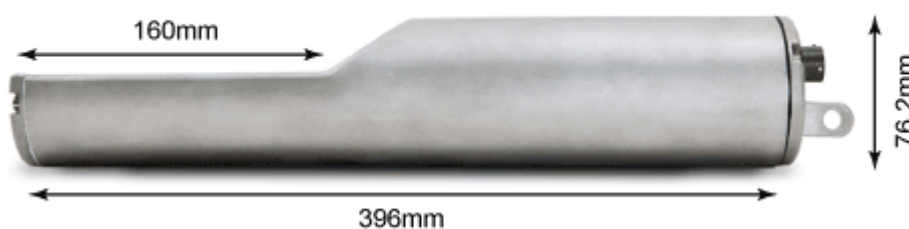


Figura 28- Exemplo de um sensor micro-ondas para medição da humidade: Hydro-Probe XT

O *Hydro-Probe XT* foi concebido para medir a humidade em grânulos, alimentação animal, nozes, e outros materiais orgânicos e agrícolas. Possui processamento de sinal integral, que fornece uma saída linear (digital e analógica) e que pode ser facilmente ligado a qualquer sistema de controlo.

Concebido para ser utilizado nas fábricas de processamento, que utilizam depósitos (silos), calhas de escoamento ou correias transportadoras. O sensor está posicionado no fluxo do material e as medições são realizadas 25 vezes por segundo, à medida que o material passa pela ou à volta da superfície de deteção. Isto significa que o sensor deteta rapidamente as alterações nos níveis de humidade, permitindo que sejam efetuados ajustes em tempo real no teor de humidade do material durante o processamento (se necessário). Isto garante a produção contínua de um produto consistente e de qualidade, além de reduzir os custos, limitando a quantidade de resíduos ou materiais fora das especificações.

O *Hydro-Probe XT* incorpora a técnica exclusiva de medição digital da *Hydronix*, para uma precisão extrema, e também fornece uma seleção de modos de medição, permitindo que o utilizador selecione o modo mais apropriado com base no material que está a ser medido. O sensor também está equipado com funcionalidade, como entradas e saídas digitais configuráveis, suavização do sinal, cálculo de média por lote e alarmes de nível de humidade alto ou baixo.

Este sensor de humidade versátil pode ser utilizado como uma unidade autónoma, com um visor ou integrado facilmente com um sistema de automação, utilizando as comunicações analógicas e digitais.

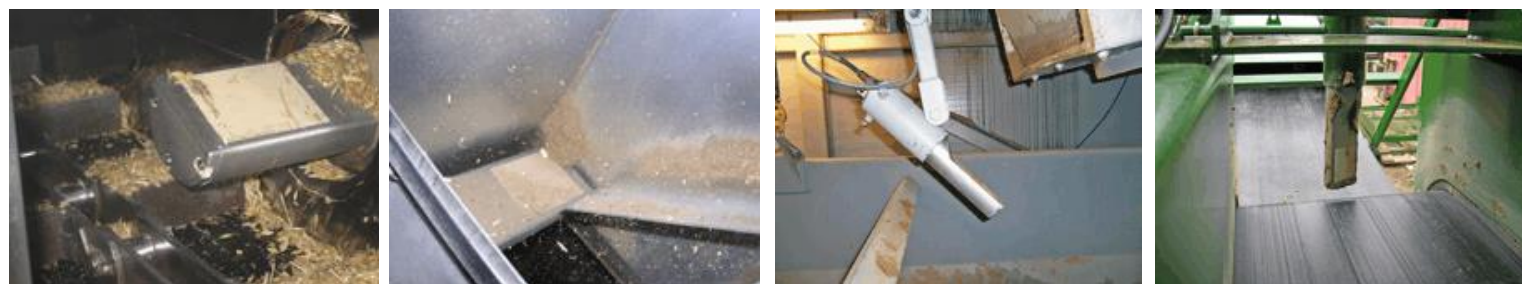


Figura 29- Exemplos de montagem do sensor micro-ondas.

O *Hydro-Probe* é um sensor por micro-ondas digital robusto, concebido para medir a humidade nos materiais de fluxo. As aplicações típicas incluem a medição de humidade em materiais abrasivos, como a areia, agregados e betão.

Tabela 22- Especificações técnicas do sensor micro-ondas

CONSTRUÇÃO	<u>Corpo:</u> Aço inoxidável <u>Placa frontal:</u> Cerâmica
INSTALAÇÃO	O sensor tem de estar colocado no fluxo do material
SAÍDAS ANALÓGICAS	Duas fontes do circuito de corrente de 0 – 20 mA ou 4 – 20 mA configuráveis disponíveis para humidade e temperatura. Também podem ser convertidas para 0-10V CC.
ENTRADAS/ SAÍDAS DIGITAIS	Dois sinais digitais configuráveis são fornecidos para o início/paragem média do lote ou para multiplexagem da humidade/temperatura
COMUNICAÇÃO DIGITAIS (SÉRIE)	Porta de 2 cabos RS485 isolada. Utiliza o protocolo de comunicações do <i>Hydro-Com</i> (software) para acesso de leitura/escrita aos valores e parâmetros do sensor. As interfaces Ethernet e USB também estão disponíveis.
INTERVALO DE HUMIDADE	O sensor mede até ao nível de saturação do material.
PENETRAÇÃO DO MATERIAL	Aproximadamente 75-100 mm dependendo do material.
TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO	0-60°C O sensor não mede no gelo.

VELOCIDADE DE ATUALIZAÇÃO	Valores atualizados 25 vezes por segundo.
LIGAÇÕES	O sensor está equipado com um conector MIL-SPEC de 10 vias. Estão disponíveis 6 cabos de sensor de par entrançado de 4, 10 ou 25 metros, pré-instalados para ligação a uma caixa de junção à prova de água.
FONTE DE ALIMENTAÇÃO	+15Vcc a +30Vcc 4W

ANEXO VI: TESTES ESTATÍSTICOS

VI.1) Teste para averiguar a distribuição dos dados estatísticos:

Para a execução de certos testes de hipóteses, é necessário averiguar se a população de onde foi retirada a amostra tem determinada distribuição teórica (normal, exponencial, uniforme,...). A normalidade dos dados pode ser observada por ferramentas estatísticas como o histograma, que organiza os dados em formatos pictóricos, tornando mais fácil determinar a natureza dos dados. Mas estas ferramentas visuais devem ser complementadas com estes testes de ajustamento, para averiguar a hipótese de que a amostra aleatória em estudo seja proveniente de uma população com uma distribuição conhecida e especificada, no presente caso com a distribuição Normal.

Entre os testes estatísticos que possibilitam esta análise, o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) e o de *Shapiro-Wilk* têm sido os mais utilizados na área da qualidade. Mas a seleção do melhor teste a utilizar ainda é um assunto em que os vários autores não estão de acordo. Alguns defendem que o teste *Shapiro-Wilk* apenas pode ser utilizado para amostras com $n \leq 30$, e para amostras com tamanhos superiores a isso deve ser utilizado o teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Enquanto outros defendem que o primeiro teste é suficientemente robusto e preciso para ser utilizado com amostras de qualquer tamanho, sendo ele a melhor opção para qualquer estudo ^[14].

Mas para qualquer um as hipóteses que tem que ser testadas para verificar a normalidade das populações são:

$$H_0: A \text{ população de onde provém a amostra possui uma distribuição Normal} \quad (31)$$

$$H_1: A \text{ população de onde provém a amostra possui uma distribuição Normal} \quad (32)$$

Ou seja:

$$H_0: F(x) \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (33)$$

$$H_1: F(x) \not\sim N(\mu, \sigma^2) \quad (34)$$

Programas de análise estatística, como o SPSS, possibilitam elaborar estes testes de forma simples e rápida. Mas, como o teste K-S baseia-se em médias e desvio-padrão corrigidos da amostra, ou seja, em estimativas de parâmetros este aceita a hipótese nula mais vezes do que deveria, podendo causar erros do Tipo II. Para contornar este problema foi proposto por *Lilliefors* uma correção quando a distribuição em teste é Normal, sendo este o teste recomendado nestas ocasiões.

Finalmente, se for possível aplicar o Teorema do Limite Central, ou seja, se o tamanho das amostras for suficientemente grande (para muitos autores $n \geq 30$), e se possuir uma média igual à média populacional e uma variância igual à variância da população dividida pelo tamanho da amostra, considera-se automaticamente que a amostra provém de uma população Normal, não sendo obrigatório testar a normalidade, pressuposto para uma aplicação correta dos testes paramétricos.

VI.2) Estatística de Teste de Kruskal-Wallis:

$$H = \frac{12}{N(n+1)} \sum_{j=1}^g \frac{(R_j)^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (35)$$

Em que N é o número total de observações, g o número de grupos, n_j o número de observações do j -ésimo grupo e R_j a soma das posições (*ranks*) do j -ésimo grupo.

VI.3) Coeficiente de Pearson:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (36)$$

Onde x_i e y_i são os n valores medidos de ambas as variáveis e \bar{x} e \bar{y} as médias aritméticas de ambas as variáveis.

Assim, quando:

$r = 1$: significa uma associação linear perfeita positiva entre duas variáveis;

$r = -1$: significa uma associação linear perfeita negativa entre duas variáveis. Isto é, se uma aumenta a outra diminui.

$r = 0$: significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado deve ser investigado por outros meios.

Uma análise mais profunda aos valores obtidos para o coeficiente de *Pearson* é executado com base na Tabela 23.

Tabela 23- Método de análise do coeficiente de correlação de Pearson^[15]

Correlação de <i>Pearson</i> (r)	ANÁLISE
0,9	Correlação muito forte
0,7- 0,9	Correlação forte
0,5-0,7	Correlação moderada
0,3-0,5	Correlação fraca
0-0,3	Correlação desprezável

